



UNIVERSITE DE
DSCHANG
FACULTE
D'AGRONOMIE ET
DES SCIENCES
AGRICOLAS

CRESA
Forêt - Bois

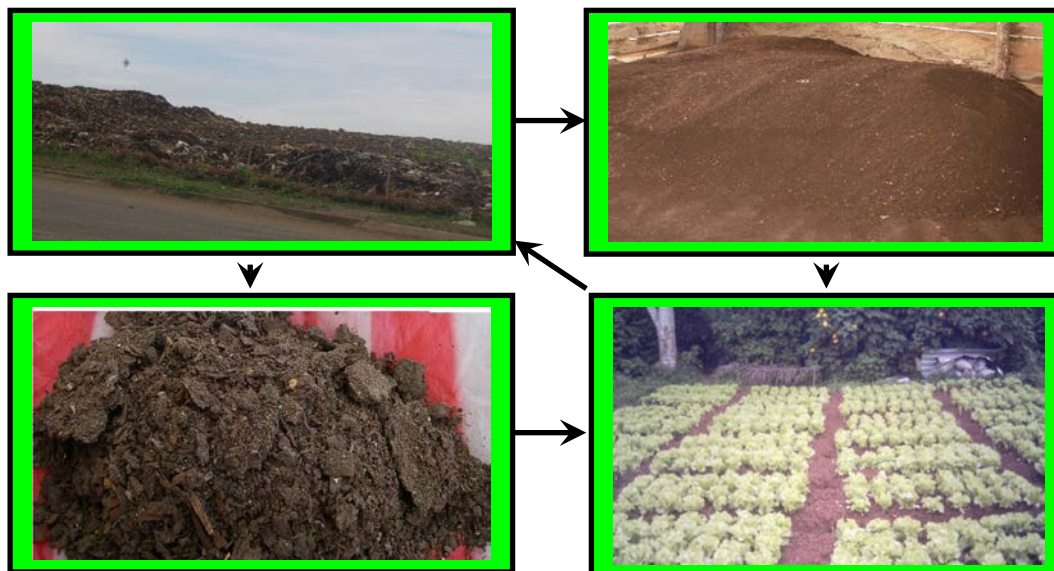
**CENTRE REGIONAL D'ENSEIGNEMENT
SPECIALISE EN AGRICULTURE
FORET-BOIS**

B.P. : 8114 Yaoundé - Cameroun
Tel : (+237) 223 89 14 Fax : (+237) 223 89 15 e-
mail : cresayao@yahoo.fr



**IMPACTS AGRONOMIQUES, ECONOMIQUES ET
ENVIRONNEMENTAUX DE QUELQUES AMENDEMENTS
ORGANIQUES A NKOLONDON (Yaoundé-Cameroun)**

Mémoire présenté et soutenu en vue de l'obtention d'un MASTER II Professionnel en Etudes d'Impacts Environnementaux (EIE).



PROPOSÉ PAR
SEH NGOUN Emmanuel Edouard
Ingénieur Agronome

~ Mai 2009 ~



UNIVERSITE DE DSCHANG
FACULTE D'AGRONOMIE ET
DES SCIENCES AGRICOLES



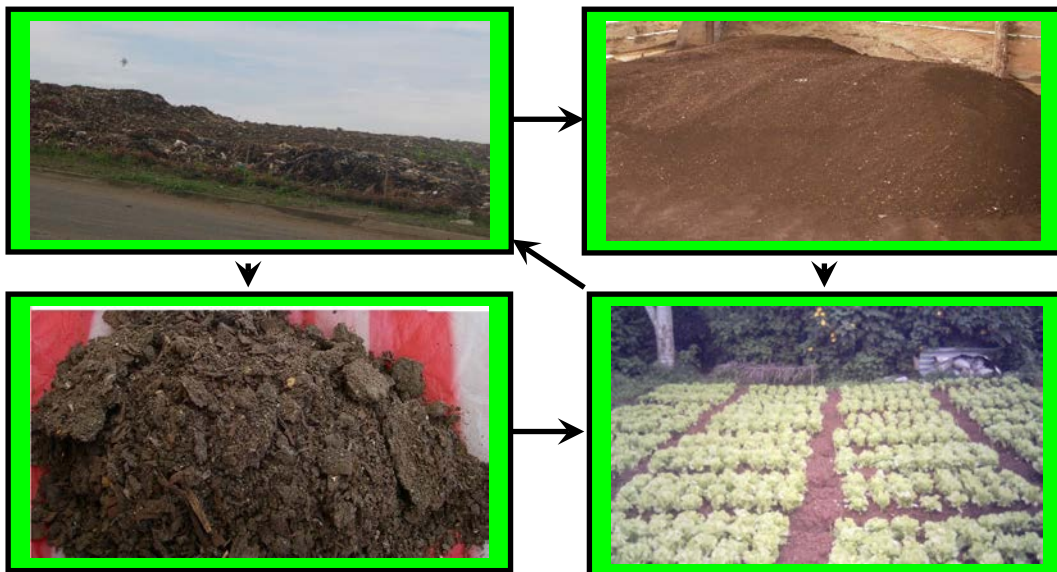
CENTRE REGIONAL D'ENSEIGNEMENT SPECIALISE EN
AGRICULTURE
FORET-BOIS

B.P. : 8114 Yaoundé - Cameroun
Tel : (+237) 223 89 14 Fax : (+237) 223 89 15 e-mail :
cresayao@yahoo.fr



IMPACTS AGRONOMIQUES, ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DE QUELQUES AMENDEMENTS ORGANIQUES A NKOLONDOM (Yaoundé-Cameroun)

Mémoire présenté et soutenu en vue de l'obtention d'un MASTER II Professionnel en Etudes d'Impacts Environnementaux (EIE).



PROPOSÉ PAR
SEH NGOUN Emmanuel Edouard
Ingénieur Agronome

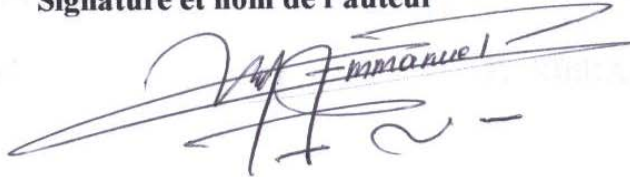
Sous la supervision académique de :
Dr. OMOKO Michel
Chargé de cours au département des sciences du sol
FASA, UDs

Sous l'encadrement technique de :
M. SIMON Serge
Agronome Maraîcher, CIRAD-Ydé

FICHE DE CERTIFICATION D'ORIGINALITE DU TRAVAIL

Je soussigné SEH NGOUN Emmanuel Edouard, atteste que le présent mémoire est le fruit de mes propres travaux effectué à Yaoundé, au cours de la période allant de mars à novembre 2008, sous la supervision de Dr. OMOKO Michel et sous l'encadrement de M. SIMON Serge. Ce mémoire est authentique et n'a pas été antérieurement présenté pour l'acquisition de quelque grade universitaire que ce soit.

Signature et nom de l'auteur



SEH NGOUN Emmanuel Edouard

Visa du superviseur



Date 14 FEV 2009

Visa du coordonnateur de filière

Date

FICHE DE CERTIFICATION DE CORRECTIONS APRES SOUTENANCE

Le présent mémoire a été corrigé conformément aux observations du jury (annexe 8).

Visa du superviseur


04 JUIN 2009

Dr. OMOKO Michel

Visa du membre du jury


13 MAI 2009

Pr. RIERA Bernard

Visa du Président du jury


09 JUIN 2009

Pr. ONGLA Jean

Visa du coordonnateur de filière

DEDICACE

A tous ceux qui aspirent au service des autres.

REMERCIEMENTS

Le présent document ne saurait être l'œuvre d'un seul individu. Il se veut comme l'aboutissement des efforts conjugués de plusieurs personnes. Ainsi, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à sa réalisation. Je remercie notamment :

- Monsieur SIMON Serge (CIRAD, Représentation Régionale de l'Afrique Centrale - Yaoundé) qui n'a ménagé ni de son temps ni des moyens matériels et financiers pour assurer la conduite de ces travaux ;
- Dr. OMOKO Michel, qui, malgré ses multiples occupations a supervisé ces travaux avec minutie ;
- Les maraîchers de Nkolondom pour avoir accepté d'accueillir les essais. Je pense à ENAMA Léonard et à MELENE Jean Paul ;
- L'équipe du CIRAD de Montpellier pour leur franche collaboration. Je pense à Francis GANRY, Denis MONTANGE et à Laurent PARROT, Sans oublier l'équipe du CIRAD-Yaoundé ;
- Les personnels du CRESA-Forêt Bois de Nkolbisson, pour tous les efforts consentis au long de notre formation. Je pense à Dr. MOULENDE Thérèse épouse FOUDA, à Dr. TCHINDJANG Messmin et au Pr. RIERA Bernard;
- Ma famille charnelle. Je pense à BIWOUONG Théorine veuve NGOUN Sébastien, BETSENGUE Caroline Epouse NZIOU Désiré, NTOUMBA Marie Noël Epouse ZE Vincent De Paul, APIANG Paterne, NGOUN Sébastien fils, MVODO Edith Josée et à MBIDA SEH Anthony ;
- Ma famille spirituelle. Je pense au Rev. Dr. AKONO Laurent et au Rev. KAMTE Robert;
- Tous mes collègues stagiaires du CRESA Forêt Bois. Je pense à Mlle NGO MOUACK Patricia René, M. NOUBI FOWO, M. KEMOE Moise.

TABLE DES MATIERES

	Pages
FICHE DE CERTIFICATION D'ORIGINALITE DU TRAVAIL	i
FICHE DE CERTIFICATION DE CORRECTIONS APRES SOUTENANCE	ii
DEDICACE.....	iii
REMERCIEMENTS	iv
TABLE DES MATIERES.....	v
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	x
LISTE DES PHOTOS	xi
LISTE DES ANNEXES.....	xii
LISTE DES ABREVIATIONS	xiii
RESUME.....	xiv
ABSTRACT	xv
 INTRODUCTION GENERALE.....	 1
1. CONTEXTE ET JUSTIFICATION DE L'ETUDE	1
2. PROBLEMATIQUE.....	5
3. OBJECTIFS DE L'ETUDE	6
4. HYPOTHESES DE RECHERCHE	6
5. IMPORTANCE DE L'ETUDE	6
 CHAPITRE 1: REVUE DE LA LITTERATURE	 7
1.1. LES DECHETS ET LEUR GESTION.....	7
1.1.1. Le concept de déchet.....	7
1.1.2. La production des déchets.....	7
1.1.3. Typologie des déchets.....	8
1.1.4. Les méfaits environnementaux dus à la production des déchets.....	10
1.1.5. Le traitement et la gestion des déchets.....	10
1.1.6. Valeur agronomique des déchets	13
1.2. LES COMPOSTS ET LE COMPOSTAGE	14
1.2.1. Le compost.....	14
1.2.1.1. Définition	14
1.2.1.2. Les intérêts des composts.....	14
1.2.1.3. Utilisation agronomique des composts	16
1.2.2. Le compostage	18
1.2.2.1. Définition et principes.....	18
1.2.2.2. Les phases du compostage	18
1.3. LES AMENDEMENTS ORGANIQUES	20
1.3.1. Définition	20
1.3.2. Les caractéristiques agronomiques des amendements organiques.....	21
1.4. INFLUENCE DES AMENDEMENTS ORGANIQUES SUR LA FERTILITE DU SOL.....	21
1.4.1. Influence des amendements organiques sur les propriétés physiques du sol.....	21
1.4.2. Influence des amendements organiques sur les propriétés chimiques du sol	21

1.4.3. Influence des amendements organiques sur la biologie du sol.....	22
1.5. INFLUENCE DES AMENDEMENTS ORGANIQUES SUR LA CULTURE DES LEGUMES.....	23
1.6. INFLUENCE SOCIO-ECONOMIQUE DES AMENDEMENTS ORGANIQUES.....	23
1.7. RISQUES ENVIRONNEMENTAUX DES AMENDEMENTS ORGANIQUES.....	24
1.7.1. Les microbes pathogènes.....	24
1.7.2. Les métaux lourds.....	25
1.7.3. Les composés organiques traces et substances inertes indésirables	28
CHAPITRE 2: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	29
2-1 LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	29
2-2 MILIEU PHYSIQUE.....	29
2-3 MILIEU HUMAIN	31
2-3-1 Groupes socioculturels	31
2-3-2 Activités agropastorales	31
2-3-2-1 Agriculture	32
2-3-2-2 Elevage.....	36
2.4. LES SITES D'ETUDES.....	36
CHAPITRE 3: MATERIELS ET METHODES	37
3.1. MATERIELS	37
3.1.1. Matériel végétal.....	37
Afin d'évaluer l'impact des amendements organiques sur le rendement d'une culture, la	37
3.1.2. Matières fertilisantes	41
3.1.2.1. Les amendements organiques	41
3.1.2.2. Engrais minéraux	42
3.1.3. Outils aratoires	42
3.1.4. Appareils de laboratoire.....	43
3.1.5. Les logiciels utilisés	43
3.2. METHODES	44
3.2.1. Evaluation agronomique des amendements organiques.....	44
3.2.1.1. Types de fertilisation.....	44
3.2.1.2. Dispositif expérimental	45
3.2.1.3. Variables de réponses.....	47
3.2.1.4. Collecte des données.....	48
3.2.1.4.1. Prélèvement des échantillons de la production sur une parcelle expérimentale	49
3.2.1.4.2. Prélèvement des échantillons de sol.....	49
3.2.1.4.3. Prélèvement des échantillons de laitue	50
3.2.1.4.3. Prélèvement des échantillons d'amendements organiques	51
3.2.1.5. Traitement des données.....	51
3.2.2. Evaluation de l'impact des amendements organiques sur le coût de fertilisation.....	51
3.2.3. Evaluation de l'impact des amendements organiques sur l'assainissement des villes.....	52
3.2.4. Evaluation des risques liés à l'usage des amendements organiques	53
3.2.4.1. L'analyse des microbes pathogènes	53
3.2.4.2. L'analyse de la teneur en métaux lourds.....	54
CHAPITRE 4: RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	55
4.1. RESULTATS	55
4.1.1. Caractéristiques des sols des différents sites avant essai	55
4.1.2. Caractéristiques agronomiques des amendements organiques.....	56
4.1.3. Impacts agronomiques des amendements organiques expérimentés	57
4.1.3.1. Performances des amendements organiques sur le rendement frais de la laitue.....	57
4.1.3.2. Rendement frais de la laitue en fonction de la dose des amendements expérimentés	63

4.1.3.3. Variation de la fertilité du sol	66
4.1.3.4. Teneur en éléments minéraux majeurs dans la partie aérienne	67
4.1.4. Impact économique des amendements organiques sur la fertilisation de la laitue.....	68
4.1.5. Impacts environnementaux des amendements organiques expérimentés	70
4.1.5.1. Masse d’ordures ménagères éliminée ou recyclée pour produire une unité de masse de laitue.....	71
4.1.5.2. Risques microbiens des amendements organiques expérimentés	72
4.1.5.3. Risques de contamination en quelques métaux lourds des amendements organiques expérimentés	73
4.2. DISCUSSION	76
4.2.1. Impacts individuels des amendements organiques expérimentés.	76
4.2.2. Impacts des amendements organiques expérimentés combinés aux engrais chimiques.	79
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	81
BIBLIOGRAPHIE	83
ANNEXES.....	91

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau I : Production des déchets ménagers dans quelques villes du Cameroun	8
Tableau II : Production des déchets ménagers par strate à Douala et Yaoundé (kg/hab./j)	8
Tableau III : Catégorisation des déchets	9
Tableau IV : Composition des déchets ménagers dans quelques villes du Cameroun (% matière sèche).....	10
Tableau V: Filières de traitement des déchets.....	12
Tableau VI: Composition de quelques déchets, en kg par tonne de produit brut	13
Tableau VII: Caractéristiques agronomiques moyennes de quelques composts d'ordures ménagères (en % matière sèche)	17
Tableau VIII : Conditions optimales pour un compostage thermophile	19
Tableau IX : Caractéristiques d'un compost en fin de maturation.....	20
Tableau X: Quelques maladies provoquées par des microorganismes pathogènes contenus dans les ordures ménagères	25
Tableau XI : Valeurs seuils des métaux lourds dans les amendements organiques et dans les sols destinés à l'épandage.	26
Tableau XII: Teneur en métaux lourds des composts de déchets ménagers (en mg/kg)	27
Tableau XIII: Les critères d'innocuité des substances inertes et composés organiques traces	28
Tableau XIV : Pesticides utilisés dans la cacao culture à Nkolondom	33
Tableau XV: Cultures légumières rencontrées à Nkolondom.....	34
Tableau XVI: Pesticides utilisés en maraîchage à Nkolondom	36
Tableau XVII : Caractéristiques de la variété de laitue utilisée dans l'étude	37
Tableau XVIII : Besoins en éléments fertilisants de la laitue	38
Tableau XIX : Conduite de la culture pendant l'essai	39
Tableau XX: Composition des types de fertilisations expérimentés dans l'essai 1	46
Tableau XXI : Composition des types de fertilisations expérimentés dans l'essai 2.....	47
Tableau XXII : Prix d'achat des matières fertilisantes sur le marché local	52

Tableau XXIII : Rendement matière et pourcentage fermentescible des déchets bruts.....	53
Tableau XXIV : Caractéristiques des sols par site avant la culture	55
Tableau XXV : Caractéristiques agronomiques des amendements organiques expérimentés.	57
Tableau XXVI: Analyse de la variance des types de fertilisation sur rendement frais de la laitue au premier cycle de culture.	58
Tableau XXIX: Analyses de la régression et de la variance du rendement frais de la laitue en fonction de la dose d'amendement organique.....	64
Tableau XXX: Variation des caractéristiques du sol en fonction des types de fertilisation	67
Tableau XXXI: Analyse de la variance de la teneur en éléments minéraux en fonction des types de fertilisation.	68
Tableau XXXII : Teneur en éléments minéraux majeurs dans la partie aérienne de la laitue sous différents types de fertilisation.....	68
Tableau XXXIII: Analyse de la variance du rapport coût de la fertilisation sur le rendement frais après deux cycles de laitue.	69
Tableau XXXIV: Analyse de la variance de la masse d'ordures ménagères nécessaire pour produire un kilogramme de laitue.	71
Tableau XXXV: Mise en évidence de quelques microbes dans les amendements organiques expérimentés.....	73
Tableau XXXVI: Teneur en métaux lourds (en mg/kg de MS) des amendements organiques expérimentés.....	73
Tableau XXXVII: Teneur en métaux lourds (en mg/kg de MS) des parcelles ayant reçu 15 kg/m ² de fumier de poulet de chair et 50 kg/m ² de compost d'ordures ménagères.....	74
Tableau XXXVIII: Teneur en métaux lourds (en mg/kg) dans la partie aérienne de laitue cultivée sur parcelle ayant reçu 15 kg/m ² de fumier de poulet de chair et 50 kg/m ² de compost d'ordures ménagères.....	75
Tableau XXXIX : Impacts agro économique et environnemental de quelques amendements organiques.	76

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1: Evolution du pH au cours d'un compostage en aérobie	18
Figure 2 : Localisation de la zone d'étude	30
Figure 3 : Diagramme ombro thermique de la zone de Yaoundé	31
Figure 4: Dispositif expérimental.....	45
Figure 5: Prélèvement des échantillons sur une parcelle expérimentale.....	49
Figure 6: Prélèvement d'un échantillon de sol	50
Figure 7: Prélèvement des échantillons sur feuille de laitue.....	50
Figure 8: Rendement frais de laitue en fonction des types de fertilisation au premier cycle cultural.....	58
Figure 9: Rendement frais de laitue en fonction des types de fertilisation au second cycle cultural.....	61
Figure 10: Comparaison des types de fertilisation sur le rendement cumulé de la laitue en deux cycles de culture	63
Figure 11: Courbe de réponse du fumier de poulet de chair sur le rendement frais de la laitue	65
Figure 12: Courbe de réponse du compost d'ordures ménagères sur le rendement frais de la laitue	66
Figure 13: Coût de fertilisation pour produire un kilogramme de laitue en fonction des types de fertilisation.....	69
Figure 14: Masse de déchets recyclées ou éliminées pour un kilogramme de laitue en fonction des types de fertilisation.....	71

LISTE DES PHOTOS

	Pages
Planche photographique 1 : Quelques étapes de la préparation du lit de semis.....	40
Planche photographique 2 : Quelques étapes du repiquage des plants	40
Planche photographique 3 : Quelques étapes de la récolte	40
Planche photographique 4: Quelques étapes de fabrication du compost à partir des déchets urbains	41
Planche photographique 5 : Fumiers de poulet de chair expérimentés	42
Photo 6: Vue d'ensemble d'un essai	45
Photo 7: Récolte d'un plant sur une parcelle.....	49
Photo 8 : Plants de laitue issus de quelques types de fertilisation au premier cycle de culture	59

LISTE DES ANNEXES

	Pages
Annexe 1 : Apports théoriques en éléments minéraux (exprimés en g/m ²) de chaque traitement selon les analyses des amendements organiques.....	91
Annexe 2 : Calcul des besoins en engrais et amendements organiques pour le premier cycle.	92
Annexe 3 : Calendrier de conduite des essais.	93
Annexe 4-1 : Guide d'appréciation de quelques caractéristiques de sols ferralitiques selon Beernaert et Bitondo (1992).....	93
Annexe 4-2 : Guide d'appréciation de quelques caractéristiques de sols ferralitiques selon Beernaert et Bitondo (1992) (suite).....	94
Annexe 5 : Résultats de l'analyse des feuilles de laitue au second cycle de culture	94
Annexe 6 : Table de conversion	94
Annexe 7 : Données soumises à l'analyse de la variance.	95
Annexe 8 : Composition du jury de la soutenance.....	96
Annexe 9 : Paramètres utilisés pour calculer le ratio économique (coût de fertilisation pour produire un kilogramme de laitue).....	97

LISTE DES ABREVIATIONS

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AFNOR : Agence Française de Normalisation
AME : Agence Méditerranéenne de l'Environnement
CEC : Capacité d'Echange Cationique
CIPRE : Centre International de Promotion de la Récupération
CIRAD : Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement
CRESA : Centre Régional d'Etudes Spécialisées en Agriculture
EIE : Etude d'Impact Environnemental
ETM : Eléments Traces Métalliques
FAO : Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture
FASA : Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles
FCFA : Franc de la Coopération Financière en Afrique
GRET : Groupe de Recherche et d'Echange Technologique
INS : Institut National de Statistique
IRAD : Institut de Recherche Agricole pour le Développement
ITAB : Institut Technique de l'Agriculture Biologique
LAPSEE : Laboratoire d'analyse des sols, plantes, engrais et eaux
MINADER: Ministère de l'Agriculture et du développement Rural
MINEE: Ministère de l'Energie et de l'Eau
MINEP : Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature
MINESUP : Ministère de l'Enseignement Supérieur
MINFOF : Ministère des Forêts et de la Faune
MINRESI : Ministère de la Recherche Scientifique et de l'Innovation
MINSANTE: Ministère de la Santé
MINUH : Ministère de l'Urbanisme et de l'Habitat
MINATD : Ministère de l'Administration Territoriale et de la Décentralisation
MINVIL : Ministère de la Ville
NFU : Norme Française Unique
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
UDs. : Université de Dschang

RESUME

Dans le souci de mettre au point des stratégies et techniques de valorisation des déchets urbains, les impacts agronomiques, environnementaux et économiques de deux amendements organiques (fumier de poulet de chair et compost d'ordures ménagères) ont été évalués sur la culture de la laitue (*Lactuca sativa*). Pour y parvenir, deux essais en champ ont été conduits chacun pendant deux cycles de culture en milieu paysan dans la zone de maraichage de Nkolondom, banlieue de Yaoundé. Dans le premier essai, huit traitements ont été comparés dans un dispositif à quatre blocs complètement randomisés. Le second essai, destiné à établir des courbes de réponse de la laitue aux doses croissantes de fumier ou de compost, comportait également huit traitements disposés en blocs complètement randomisés à quatre répétitions. Les essais en champs ont été complétés par des analyses en laboratoire des échantillons de sols, d'amendements organiques et de laitue.

Les résultats obtenus ont montré que :

Sur le plan agronomique, l'effet des blocs était non significatif au seuil de 5% pour tous les paramètres observés. Les traitements ont influencé les rendements frais en laitue de manière très hautement significative ($p < 0,0001$) pendant les deux cycles de culture dans le premier essai. Ces rendements ont varié de $1,700 \pm 0,17 \text{ kg/m}^2$ (sur les parcelles témoins) à $3,133 \pm 0,17 \text{ kg/m}^2$ (sur les parcelles fertilisées par une combinaison fumier + engrais) au premier cycle de culture et de $1,200 \pm 0,14 \text{ kg/m}^2$ (sur parcelles témoins) à $4,480 \pm 0,14 \text{ kg/m}^2$ (sur les parcelles fertilisées conformément à la pratique paysanne) au second cycle de culture. Sur la base des rendements cumulés des deux cycles, les traitements ont été classés comme suit : pratique paysanne \geq fumier + engrais $>$ fumier \geq compost \geq compost + engrais \geq compost + fumier + engrais $>$ engrais \geq témoin. Les courbes de réponse du rendement de la laitue aux doses des amendements organiques sont représentées par les équations suivantes : Rendement (kg/m^2) = $3,09 + 1,43 \log (\text{kg fumier/m}^2)$ avec $R^2 = 0,950$ et rendement (kg/m^2) = $2,47 + 1,38 \log (\text{kg compost/m}^2)$ avec $R^2 = 0,938$.

Sur le plan environnemental, le compost a eu un impact significativement supérieur à celui du fumier et/ou de l'engrais en ce qui concerne le recyclage des ordures ménagères et l'assainissement des villes. La production d'un kilogramme de laitue permet de recycler $21,332 \pm 0,3 \text{ kg}$ d'ordures ménagères contre $0,857 \pm 0,3 \text{ kg}$ de fumier. Aussi a-t-il été constaté que le compost a eu un impact supérieur à celui du fumier et/ou l'engrais en ce qui concerne l'amélioration de quelques caractéristiques du sol. L'épandage du fumier ou du compost n'a pas présenté des risques de contamination des parcelles en cuivre, zinc et plomb. Les analyses microbiologiques réalisées indiquent que le risque de contamination de ces amendements organiques par des agents infectieux est faible même si un cas de présence d'*Escherichia coli* a été révélé sur un échantillon de compost après stockage.

En revanche, l'engrais était plus rentable sur le plan économique que le fumier et le compost. En effet, les coûts respectifs de production d'un kilogramme de laitue sont de $17,443 \pm 5,24 \text{ F CFA}$, $32,192 \pm 5,24 \text{ F CFA}$ et $373,27 \pm 5,24 \text{ F CFA}$. La pratique paysanne se situe à $45,590 \pm 5,24 \text{ F CFA}$.

Mots clefs : Compost d'ordures ménagères, fumier de poulet de chair, impacts agronomiques, impacts environnementaux, impacts économiques.

ABSTRACT

In a bid to develop strategies and technical of valorisation of urban waste, the agronomic, environmental and economical impacts of two organic manures (compost from household refuse and chicken droppings) have been evaluated on lettuce (*Lactuca sativa*) culture. During two cycles of lettuce cultivation, two trials were carried out in Nkolondom (around urban area of Yaoundé). In the first trial, eight treatments were compared in four blocks completely randomized. In the second, two response curves of lettuce were established with four doses of chicken droppings and three doses of compost. Work on the fields was followed and completed by the analysis of soil samples, organic manure and lettuce in the laboratory.

The results obtained showed that:

From the agronomic aspect, the block effect is not significant on 5% of probability of all parameters observed. The treatments effects on lettuce yield were highly significant ($p < 0,0001$) during the two cycles in the first trial. These yields ranged from $1,700 \pm 0,17 \text{ kg/m}^2$ (on the plots without fertilizer) to $3,133 \pm 0,17 \text{ kg/m}^2$ (on plots which received chicken droppings + mineral fertilizer) in the first cycle and from $1,200 \pm 0,14 \text{ kg/m}^2$ (on the plots without fertilizer) to $4,480 \pm 0,14 \text{ kg/m}^2$ (on the plots which received farmers practice) in the second cycle. In base of cumulus yield of two cycles, the treatments are classified in this other farmers practice \geq chicken dropping + mineral fertilizer $>$ chicken dropping \geq compost \geq compost + mineral fertilizer \geq compost + chicken droppings + mineral fertilizer $>$ mineral fertilizer \geq no fertilization. The curves responses of lettuce obtain are follow: yield (kg/m^2) = $3,09 + 1,43 \log (\text{kg chicken droppings/m}^2)$ avec $R^2 = 0,950$ et yield (kg/m^2) = $2,47 + 1,38 \log (\text{kg compost/m}^2)$ avec $R^2 = 0,938$.

From the environmental aspect, compost had a high significant impact than chicken droppings and/or mineral fertilizer concerning the recycling of household refuse and the clean up of towns. The production of a kilogram of lettuce recycle $21,332 \pm 0,3 \text{ kg}$ of household refuse against $0,857 \pm 0,3 \text{ kg}$ of chicken droppings. It was equally observed that compost had the highest impact compared to chicken droppings and/or mineral fertilizers as far as it concerns the improvement of soil characteristics. The application of chicken droppings and of compost manure did not present risks of contaminating the soil with copper, zinc and lead. Micro-biological analyses carried out indicate that the risk of contamination of these manures by infectious agents was quite negligible even if the presence of *Escherichia coli* was revealed on a sample of compost manure after stocking.

From the economic perspective, mineral fertiliser had the best performance than compost and chicken droppings. The fertilizations costs of producing a kilogram of lettuce are respectively $17,443 \pm 5,24 \text{ F CFA}$, $32,192 \pm 5,24 \text{ F CFA}$ et $373,27 \pm 5,24 \text{ F CFA}$. Farmers practice cost are $45,590 \pm 5,24 \text{ F CFA}$.

Keys words: Compost from household refuse, chicken droppings, agronomic impacts, environmental impacts, economic impacts.

INTRODUCTION GENERALE

1. CONTEXTE ET JUSTIFICATION DE L'ETUDE

- **Contexte socio-économique**

La population actuelle du Cameroun est estimée à plus de 20 millions d'habitants, avec un taux d'accroissement naturel de 2,7% par an. Plus de 70% de cette population est agricole. Dans ce pays, le taux de pauvreté est estimé à 40,2% et le taux de chômage des jeunes de 15 à 24 ans est d'environ 14,4% (INS, 2001). Aussi, la sécurité alimentaire s'est-elle beaucoup dégradée, la production agricole n'ayant pas suivi la croissance démographique (TCHUENTE, 2002). Le cacaoyer et le caféier figurent parmi les principales sources de revenu des populations de la partie Sud de ce pays (MINADER, 2005).

La production des ordures ménagères au Cameroun est évaluée à 4148 tonnes/jour, avec une production spécifique de 0,6 kg/habitant/jour (NGNIKAM, 2000). Dans la ville de Yaoundé, cette production des ordures est évaluée à 1076,4 tonnes par jour (NGNIKAM et TANAWA, 2006). La gestion de ces déchets est un problème majeur dans le pays. Ce problème est aggravé par l'accroissement de la population urbaine et la prédominance du secteur informel (INS, 2005). Comme dans d'autres pays en développement, les opérateurs publics et privés impliqués dans la gestion des déchets urbains (HYSACAM, ONG, GIC...) sont confrontés à une insuffisance financière, aux problèmes institutionnels et techniques (MOSLER et *al.*, 2006 ; KASSIM et ALI, 2006 ; PARROT et *al.*, 2008). Il en résulte des problèmes sanitaires, des inondations et des nuisances.

L'examen du phénomène d'urbanisation au Cameroun montre un taux de croissance de 5,6% par an de la population urbaine. Cette tendance laisse entrevoir à l'horizon 2020 : 2 villes de plus de 1,5 million d'habitants, 4 villes de près de 1 million d'habitants, 10 villes de près de 500 000 habitants et une vingtaine de villes de 100 000 habitants (MOUGOUE, 1982). La population de la ville de Yaoundé est estimée à 1,7 million d'habitants avec un taux d'accroissement annuel de 6,8 % (INS, 2001). Cette démographie galopante laisse entrevoir d'ici 2025, la phagocytose d'environ 4965 ha de terres agricoles à la périphérie de la ville de Yaoundé (MINVIL, 2001) avec pour conséquence une réduction de la surface agricole utile par actif. Dans ce contexte, les agriculteurs sont obligés de faire évoluer leur technique, leur savoir – faire et leur stratégie à la même vitesse (BOPDA, 1985).

- **Contexte réglementaire et juridique**

L'usage des amendements organiques est régi par plusieurs textes réglementaires d'envergure internationale (AME, 1997), parmi lesquels :

- La convention de Rio du 5 juin 1992, portant sur l'environnement et le développement;
- La convention de Maputo du 11 juillet 2003, portant sur la conservation de la nature et des ressources naturelles.

À l'échelle mondiale, il a été recommandé au sommet de la terre de Rio (1992), de maximiser la réutilisation et le recyclage écologiquement rationnel des déchets, afin que d'ici à l'an 2010, dans tous les pays en développement, l'on ait un programme national incluant dans la mesure du possible des objectifs de réutilisation et de recyclage efficaces des déchets.

Au niveau africain, la convention de Maputo, dans son article 4, exige des états contractants, l'adoption des plans d'utilisation des terres fondés sur des études scientifiques et l'introduction des méthodes culturales meilleures qui garantissent une productivité des terres à long terme.

À ces textes internationaux s'ajoutent deux lois nationales, leurs décrets d'application et arrêtés :

- La loi cadre N°96/12 du 05 août 1996, relative à la gestion de l'environnement ;
- La loi N°2003/007 du 10 juillet 2003 régissant le sous secteur engrais.

Il découle de la loi cadre l'arrêté N°0069/MINEP du 08 mars 2005. Cet arrêté prévoit la réalisation d'une étude d'impact en cas d'introduction de nouveaux fertilisants ou de nouvelles pratiques agricoles.

La loi du 10 juillet 2003, dans son article 6 (1) recommande une évaluation préalable de l'état physique et chimique du sol en cas d'usage intensif des amendements organiques. Dans son chapitre 3 réservé à l'inspection et au contrôle de la qualité des engrais, il est prévu dans l'article 9 (1) des prélèvements des échantillons pour les analyses en laboratoire. Le non respect de ces prescriptions constitue une infraction à l'égard de cette loi. Aussi, cette loi prévoit – elle que toute matière fertilisante mise sur le marché doit être efficace pour l'usage prévu, et doit être inoffensive pour l'homme, les animaux et l'environnement.

Par ailleurs, la nouvelle norme de l'Agence Française de la Normalisation (AFNOR, 2006) sur les amendements organiques, recommande une évaluation de l'innocuité de toutes les matières premières utilisées dans la fabrication des amendements organiques.

- **Contexte agro écologique**

Le diagnostic de la fertilité des sols du Cameroun fait ressortir d'une part une faible fertilité due aux conditions naturelles et d'autre part, un déclin de la fertilité résultant du mode de gestion inappropriée des sols qui, de manière insidieuse, induit la dégradation des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de ceux - ci (GOLCHIN et *al.*, 1995; TEJADA et *al.*, 2006). Parmi les causes les plus fréquentes de cette baisse de fertilité, on peut citer la pauvreté en éléments nutritifs et notamment celle en matière organique. Cette dernière entraîne des conséquences défavorables telles que :

- la fragilisation de la structure des sols ;
- la faible capacité de rétention des éléments nutritifs et de l'eau ;
- l'augmentation de la susceptibilité à l'érosion ;
- et une baisse de productivité (MINADER, 2005).

Les causes de la pauvreté en matière organique des sols sont nombreuses et peuvent varier d'une zone à l'autre. Il s'agit de :

- la minéralisation rapide de la matière organique ;
- l'entraînement par les eaux de ruissellement des matières organiques solubles liées aux argiles ;
- la faible quantité de biomasse disponible.

Plusieurs auteurs ont fait des recommandations en vue d'augmenter la biomasse disponible des sols agricoles. Au nombre de celles – ci on a :

- la restitution des résidus des récoltes (SNAPP et *al.*, 1998) ;
- l'introduction des espèces agroforestières dans les systèmes de productions agricoles (RAO et *al.*, 1998) ;
- le recyclage des ordures ménagères (ROS et *al.*, 2003), des fumiers d'élevage (TEJADA et *al.*, 2006) et des sous produits agro industriels (ALVES et PASSONI, 1997 ; MADEJON et *al.*, 2001).

La dernière proposition est la plus appropriée au contexte socio économique des grandes métropoles du Cameroun et notamment Yaoundé. En dehors de son impact agricole certain, le recyclage des ordures ménagères et des fumiers d'élevage se présente comme un moyen durable d'assainissement des villes. En plus, il est créateur d'emplois.

- **Cadre institutionnel**

La production, la distribution et l'utilisation des amendements organiques sont au centre des charges régaliennes du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MINADER). Plusieurs autres départements ministériels sont impliqués dans ce secteur, on cite : le Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature (MINEP), le Ministère du Commerce (MINCO), le Ministère de la Santé (MINSANTE), le Ministère de l'Enseignement Supérieur (MINESUP), le Ministère de la Recherche Scientifique et de l'Innovation (MINRESI) et le Ministère des Finances (MINFI).

Le MINADER (2005) a élaboré un plan d'action pour améliorer de façon durable la productivité des sols du Cameroun. Ce plan se propose de promouvoir l'adoption des pratiques améliorées de gestion de la fertilité des sols. Ceci, à travers des alternatives aux pratiques traditionnelles de gestion de la fertilité des sols. À moyen terme, il s'agit d'améliorer le statut organique des sols à travers des techniques de restitution et de valorisation des résidus des cultures, des déjections animales et des déchets communautaires biodégradables.

Le rôle de la recherche est capital et son intervention est essentielle, notamment dans la production des technologies innovantes et appropriées et le suivi de leurs performances sur le terrain (MINADER, 2005). Ainsi, dans son rapport annuel le MINADER (2005) attribue des responsabilités aux différents établissements et instituts spécialisés du MINESUP et aux centres internationaux de recherche. Au nombre de ces responsabilités on a :

- la recherche des solutions alternatives aux fertilisations conventionnelles ;
- la mise au point et l'expérimentation des amendements biologiques, simples, efficaces et adaptés aux potentialités et aux caractéristiques des différents sols.

2. PROBLEMATIQUE

La gestion des ordures ménagères se présente comme l'une des préoccupations majeures des métropoles camerounaises (NGNIKAM, 2000). Tous acteurs institutionnels impliqués dans la gestion de ces déchets cherchent des moyens pour assurer la propreté des villes et préserver leur environnement.

Par ailleurs, la fluctuation des coûts du cacao et du café sur le marché international et la crise économique qu'a traversé le Cameroun de 1985 à 1994, ont favorisé l'expansion de l'agriculture périurbaine et notamment la production légumière (MARQUIS, 2005). L'intensification de cette production a pour conséquence l'appauvrissement des sols. De ceux-ci, on obtient des rendements médiocres ; ce qui peut conduire à une crise alimentaire si rien n'est fait. L'usage des engrais minéraux est recommandé pour améliorer la fertilité des sols ainsi dégradés. Cependant, ces engrais sont de plus en plus coûteux et ne sont pas toujours disponibles pour les petits agriculteurs. Ceci favorise l'usage des amendements organiques dans l'agriculture périurbaine en général et notamment dans les zones de production légumière de la banlieue de Yaoundé (SOTAMENOU, 2004). Bien que l'emploi des amendements organiques se présente comme un moyen durable de gestion de la fertilité des sols, les risques environnementaux dus par ceux-ci se présentent comme l'une des contraintes de leur usage agricole (SMITH, 1992 ; PINAMONTE et *al.*, 1997 ; SAINZ et *al.*, 1998).

Au regard de ce qui précède, il serait judicieux de s'interroger sur l'intérêt de l'usage des amendements organiques dans un contexte où l'on veut assurer la propreté des villes, préserver la sécurité alimentaire et conserver l'environnement.

3. OBJECTIFS DE L'ETUDE

- **Objectif global**

La présente étude évalue les impacts liés à l'usage de quelques amendements organiques dans une banlieue de Yaoundé.

- **Objectifs spécifiques**

De manière spécifique, elle se propose :

- ✓ d'évaluer l'impact agronomique de quelques amendements organiques;
- ✓ d'évaluer l'impact de quelques amendements organiques sur le coût de la fertilisation des sols pour la culture de la laitue;
- ✓ d'évaluer l'impact environnemental de quelques amendements organiques.

4. HYPOTHESES DE RECHERCHE

- ✓ Les amendements organiques améliorent la fertilité des sols ;
- ✓ L'usage des amendements contribue à la réduction du coût de la fertilisation des sols pour la culture de la laitue;
- ✓ L'usage des amendements organiques contribue à l'assainissement des villes;
- ✓ L'usage des amendements organiques n'engendre pas des risques environnementaux.

5. IMPORTANCE DE L'ETUDE

L'agriculture familiale camerounaise représente 95% des exploitations agricoles du pays (MINADER, 2005). La mise sur pied des alternatives aux méthodes de fertilisation conventionnelle (usage des engrais minéraux), constitue un moyen de lutte efficace contre le coût élevé de la vie. Pour y parvenir, le gouvernement camerounais à travers sa nouvelle législation en matière de gestion environnementale, a engagé des programmes spécifiques de production durable dont la priorité est l'initiation et le renforcement des filières de valorisation des déchets. La présente étude contribue à la mise en oeuvre de cette volonté de l'Etat camerounais. Aussi contribue t-elle au développement des techniques de valorisation des déchets communautaires.

CHAPITRE 1

REVUE DE LA LITTERATURE

Ce chapitre présente le cadre conceptuel de l'étude ainsi qu'une revue de la littérature sur la gestion des déchets, le compostage et des amendements organiques. Aussi présente-t-il les effets résultants de l'épandage de ces amendements.

1.1. LES DECHETS ET LEUR GESTION

1.1.1. Le concept de déchet

Sur le plan économique, BERTOLINI et *al.* (1996) définissent un déchet comme un produit dont la valeur d'usage et/ou la valeur d'échange est nulle pour son détenteur ou propriétaire.

Sur le plan juridique par ailleurs, on distingue une approche subjective et une approche objective de la définition de déchet (MAYSTRE et *al.*, 1994). Selon l'approche subjective, un bien ne peut devenir un déchet que si son propriétaire a la volonté de s'en débarrasser. Mais tant que ce bien n'a pas quitté la propriété privée vers l'espace public, le propriétaire peut à tout moment changer son avis d'abandonner le droit de propriété sur ce bien. L'approche objective par contre, conçoit un déchet comme un bien dont la gestion doit être contrôlée au profit de la protection de la santé publique et de l'environnement, indépendamment de la volonté de son détenteur et de la valeur économique du bien.

Sur le plan environnemental, on englobe sous le terme « déchet », tous les déchets solides, liquides et gazeux.

1.1.2. La production des déchets

Selon NGNIKAM et TANAWA (2006), la production des déchets ménagers varie en fonction de :

- La région (tableau I) ;
- La saison et les différentes strates sociales.

Tableau I : Production des déchets ménagers dans quelques villes du Cameroun

Villes ou régions	Déchets de ménage (kg/habitant /jour)	Production totale des déchets ménagers (tonne/jour)
Douala	0,88	1227
Yaoundé	0,85	1076,4
Bafoussam	0,57	120
Kumba	0,30	45,6
Bafang	0,65	31,6
Nkongsamba	0,52	51
Garoua	0,37	109,5
Moyenne	0,60 ¹	4148 ²

Source : NGNIKAM et TANAWA, 2006 : 1= moyenne nationale à partir des villes enquêtées, 2= total national

La production totale des déchets ménagers au Cameroun est concentrée dans deux villes : Douala et Yaoundé. Les déchets ménagers produits dans ces agglomérations représentent 56,8% de la production nationale. C'est pour cette raison que les efforts des pouvoirs publics ont été concentrés jusqu'ici sur ces deux agglomérations au détriment des villes moyennes, surtout dans la zone humide qui produit 42,3% des déchets ménagers.

Dans le cas de Yaoundé et Douala, NGNIKAM et TANAWA (2006) constatent une différence significative de la production des déchets ménagers dans les différentes strates (tableau II).

Tableau II : Production des déchets ménagers par strate à Douala et Yaoundé (kg/hab./j)

Villes	Yaoundé		Douala	
Type de strate	Saison sèche	Saison pluvieuse	Saison sèche	Saison pluvieuse
Structure haut standing	0,95	1,31	0,97	1,42
Structure moyen standing	0,78	1,12	0,78	1,28
Lotissements municipaux	0,73	0,98	0,53	0,79
Spontané	0,5	0,8	0,46	1
Périurbains	0,63	0,95	0,45	0,91
Moyenne	0,6	0,98	0,68	0,98

Source : NGNIKAM et TANAWA, 2006

1.1.3. Typologie des déchets

Selon la typologie des déchets telle que inspirée par la loi française du 15 juillet 1975, on peut rencontrer sur un territoire urbain les catégories de déchets présentées dans le tableau III. Selon ce dernier, les déchets sont classés selon leur provenance, leurs caractères de dangerosité ou d'encombrement et aussi par la méthode utilisée pour leur collecte et leur traitement communs.

La présente étude aborde deux types de déchets, à savoir : les déchets ménagers et les déchets de la collectivité. Parlant des déchets ménagers, il s'agit notamment des ordures ménagères. Dans les déchets de la collectivité, les déchets du nettoyage sont ciblés et plus particulièrement les déchets de ferme avicole.

Tableau III : Catégorisation des déchets

Catégories de déchets	Sous catégories	Description sommaire
Déchets ménagers	Déchets ménagers	Déchets produits par les ménages
	Ordures ménagères (OM)	Déchets de l'activité domestique des ménages pris en compte par la collecte régulière
	Encombrants des ménages	Déchets liés à une activité occasionnelle qui, en raison de leur volume et de leur poids, ne peuvent être pris en compte par la collecte régulière d'ordures ménagères
	Déchets ménagers spéciaux	Déchets présentant un ou plusieurs caractères dommageables pour l'environnement et/ou qui ne peuvent pas être éliminés par les mêmes voies que les ordures ménagères sans créer des risques lors de la collecte
Déchets de la collectivité	idem	Déchets produits par les services de la collectivité
	Déchets du nettoyage	Déchets liés au nettoyage des fermes, rues, des marchés, des plages...
	Déchets des espaces verts	Déchets liés à l'entretien des espaces verts : tontes de gazon, taille, élagage, feuilles mortes...
	Déchets de l'assainissement	Déchets résultant du fonctionnement des dispositifs publics d'épuration et de l'entretien des réseaux d'évacuation des eaux usées, pluviales ou cours d'eau
Déchets des artisans et commerçants, déchets banals des activités économiques et des administrations	idem	Ces producteurs peuvent confier leurs déchets aux services communaux « à condition qu'ils n'entraînent pas, eu égard à leurs caractéristiques, de sujétions techniques particulières lors de leur élimination ». les communes acceptent ainsi l'assimilation de ces déchets aux ordures ménagères du fait de leur nature similaire
Déchets industriels	Déchets banals	Déchets assimilables à travers leur nature (ou dangerosité), aux ordures ménagères. Dépassant les volumes et quantités limités fixées par la commune ou regroupement dans le contrat de collecte, leur élimination est alors à la charge du producteur
	Déchets spéciaux	Déchets dont la destination nécessite des précautions particulières vis-à-vis de la protection de l'environnement. Exemple : déchets d'activités de soins, produits phytosanitaires, déchets...

Source : NGNIKAM et TANAWA, 2006

NGNIKAM et TANAWA (2006) regroupent les composantes des ordures ménagères en trois fractions principales :

- Les matières organiques fermentescibles ;
- Les inertes (verres, métaux, gravats...) ;
- Les combustibles (papiers, plastiques, textiles, bois...).

Suivant les régions, l'importance relative des composantes de chacune des trois fractions ci-dessus peut beaucoup varier (tableau IV).

Tableau IV : Composition des déchets ménagers dans quelques villes du Cameroun (% matière sèche)

Composantes	Yaoundé	Douala	Nkongsamba	Bafang	Bafoussam	Garoua	Kumba	Moyenne
Papier/carton	3,5%	3,7%	4,8%	1,3%	1,3%	1,7%	0,7%	2,2%
Verre/céramique	4,1%	1,6%	5,6%	0,3%	0,8%	0,1%	0,4%	1,8%
Textile/cuir	1,6%	2,4%	2,3%	1,1%	0,9%	1,5%	0,7%	1,5%
Plastiques	4,6%	3,4%	0,3%	1,1%	2,3%	6,1%	1,9%	2,8%
Métaux	4,6%	2,3%	1,3%	0,7%	0,6%	1,0%	0,8%	1,6%
Bois et copeaux	-	1,5%	0,9%	0,7%	0,5%	1,9%	0,2%	0,9%
Gravats	5,9%	5,1%	1,7%	0	1,7%	2,5%	0	2,4%
Fine < 20mm	27,6%	1,3%	6,7%	17,3%	25,6%	41,9%	14%	19,2%
Matière organique totale	76%	78,7%	80,5%	87,9%	79%	51,2%	88,6%	77,4%

Source : NGNIKAM et TANAWA, 2006

1.1.4. Les méfaits environnementaux dus à la production des déchets

La production des déchets cause des désagréments sur l'environnement et la santé humaine. Sur le plan environnemental, ces désagréments sont provoqués d'une part, par les dégagements de gaz nocifs pendant les opérations d'incinération (par exemple), d'autre part, la production des déchets cause des nuisances (encombrement, mauvaises odeurs...).

Sur le plan sanitaire, la production des déchets favorise la prolifération des germes pathogènes et la pollution des eaux.

1.1.5. Le traitement et la gestion des déchets

Le traitement est une opération qui permet de réduire le potentiel polluant du déchet dans des conditions contrôlées. Cette réduction du potentiel polluant peut être accompagnée d'une valorisation de la matière ou de l'énergie contenue dans le déchet. Les procédés utilisés pour le traitement des déchets ménagers sont présentés par le tableau V.

Les principaux acteurs institutionnels impliqués dans la gestion des déchets au Cameroun sont :

- Les institutions chargées de la planification et de la gestion des interfaces : il s'agit des ministères qui interviennent dans la gestion des déchets (MINEP, MINEE, MINUH, MINATD, MINSANTE) ;

- Les collectivités décentralisées : elles sont chargées de la mise en œuvre des politiques : il s'agit des communautés urbaines, des communes urbaines et des communes rurales ;
- Les acteurs non gouvernementaux : ils participent à l'exécution des missions d'intérêt général. Dans ce groupe on a : les associations reconnues, les groupes d'initiatives communes (GIC), les organisations non gouvernementales (ONG) et les petites et moyennes entreprises (PME) ;
- Les bailleurs de fonds extérieurs.

Les travaux menés par NGNIKAM et TANAWA (2006), mettent en évidence quatre systèmes de gestion des déchets solides dans les pays d'Afrique en voie de développement :

- La collecte traditionnelle et la mise en décharge des déchets bruts (système 1 ; le plus pratiqué) ;
- La collecte traditionnelle et la mise en décharge des déchets bruts avec valorisation du biogaz de décharge (système 2) ;
- La collecte traditionnelle, le compostage et la mise en décharge des refus (système 3) ;
- La collecte traditionnelle, la méthanisation en réacteur, le compostage des digestats et la mise en décharge des refus (système 4).

L'évaluation de ces quatre systèmes sur les points de vue environnemental et économique, ressort que les systèmes 1 et 4 sont les moins bons. En effet, le système 1 est peu coûteux mais très polluant. À l'inverse le système 4 est très coûteux avec les meilleures performances environnementales. Les systèmes 2 et 3 sont classés intermédiaires. Le système 2 s'est révélé le meilleur tandis que le système 3 s'est révélé coûteux malgré ses performances environnementales (NGNIKAM et TANAWA, 2006). Ce dernier est le mieux approprié pour les grandes villes du Cameroun, compte tenu du contexte socio économique (BUSTAMANTE *et al.*, 2008 ; NGNIKAM, 2000). Dans le but de promouvoir le développement propre, le coût d'investissement lié au compostage peut être supporté par une taxe (conformément à l'article 95 de la loi n°74/23 du 5 décembre 1974) ou subventionné.

Tableau V: Filières de traitement des déchets

Objectif		Filières	Exemple
Valorisation énergétique	1	Combustion	Incinération des ordures ménagères, de pneus, de solvants....
	2	Elaboration de combustibles dérivés : procédés mécaniques (broyage, tri, séchage...)	Combustibles extraits des ordures ménagères Plaquette de sciure Charbons pauvres enrichis
	3	Elaboration des combustibles dérivés : procédés biologiques	Biogaz des décharges Alcools issus des déchets sucrés
	4		
Valorisation de matières premières	5	Matières premières organiques (naturelle et de synthèse)	Alcool, sucres, protéines, Solvants, huiles de synthèse...
	6	Matières premières minérales (métalliques et non métalliques)	Récupération du fer, aluminium, mercure... Récupération du soufre, acides chlorhydrique et sulfurique
Valorisation en science des matériaux	7	Liants hydrauliques et matériaux de structure	Valorisation des cendres volantes de centrales thermiques, des laitiers de hauts fourneaux Utilisation des déchets plastiques en terrassement...
	8	Verre et céramique	Recyclage des verres
	9	Matières plastiques et caoutchoucs	Recyclage des plastiques Recyclage des pneus...
	10	Fibres cellulosiques de récupération	Récupération du papier et recyclage Déchets textiles utilisées en papeterie
	11	Autres matériaux	Utilisation en arts plastiques Multiples usages des pneumatiques...
Valorisation en agriculture et agro-alimentaire	12	Elaboration des amendements organiques	Compost urbain Compost de fumier
	13	Elaboration des amendements minéraux	Scories potassiques et chaux résiduaires Déchets ammoniacaux
	14	Alimentation des animaux	Déchets de restauration Déchets des laiteries, abattoirs...
Valorisation en technique de l'environnement	15	Epuration des effluents liquides et gazeux	Sulfate ferreux résiduaire en floculation des eaux Boues biologiques en désodorisation des gaz Filtration sur déchets minéraux broyés
	16	Conditionnement de déchets toxiques par d'autres déchets	Utilisation des déchets liants hydrauliques, de déchets plastiques et de verres en solidification stabilisation
Elimination	17	Incinération et autres procédés thermiques	Destruction des déchets toxiques, déchets hospitaliers, effluents pollués
	18	Traitement biologique	Stabilisation aérobie des boues
	19	Traitements physico chimiques et chimiques	Neutralisation, oxydation, complexation, inertage, détoxification partielle...
	20	Mise en décharge	Décharges traditionnelles

Source : NAVARRO et al., 1993

1.1.6. Valeur agronomique des déchets

Selon ADAS (1983), les déchets utilisables en agriculture doivent satisfaire quatre conditions :

- répondre exactement à un besoin précis ;
- être concurrentiel des filières existantes pour ce besoin ;
- ne pas apporter d'éléments susceptibles de diminuer, à terme, la fertilité des sols ou la qualité des produits ;
- ne pas présenter de risques pour l'environnement.

L'intérêt agricole des déchets vient du fait que ces sous produits contiennent des éléments nutritifs nécessaires à la croissance et au développement des plantes cultivées (tableau VI).

Tableau VI: Composition de quelques déchets, en kg par tonne de produit brut

Type de déchets	MS	MO	N total	P ₂ O ₅	K ₂ O	Source
Fumier poulet de chair	580	480	25,5	21,5	21	ZIEGLE et HEDUIT, 1991
Ordures ménagères	300	850	25	8	11	FARINET et SEYDOU, 2005
Vinasses		398	32,5		126	TEJADA et <i>al.</i> 2006 ; MADEJON et <i>al.</i> , 2001
Fumier de dinde	540	430	24	25	20,5	ZIEGLE and HEDUIT, 1991
Fumier de bovin	185	152	5,3	1,7	7,1	Institut de l'élevage, 1993

MS = Matière Sèche ; MO = Matière Organique ; N = azote

La composition chimique des déchets fermentescibles est soumise à une forte variabilité. Pour les fumiers, cette variabilité est liée aux facteurs suivants : l'espèce et l'âge de l'animal, la composition de l'alimentation, le bâtiment, la qualité et la quantité de litière, la durée de stockage.

L'azote libéré en première année par les fumiers, provient en grande partie de l'ammonium contenu dans ces matières fertilisantes. On peut retenir une fourchette moyenne de 20 à 40% d'azote disponible l'année de l'apport. Certains chiffres pouvant sortir de cette fourchette, en particulier en fonction des conditions climatiques (KIRCHMANN, 1985).

Le phosphore est surtout contenu dans les parties solides des déjections animales. Dans les fumiers, on peut supposer que la proportion de phosphore organique est un peu plus élevée en raison de la litière. Le phosphore minéral est en grande partie sous forme de phosphate bi-calcique et donc comparable à celui de certains engrais minéraux (ZIEGLE et HEDUIT, 1991).

Le potassium est presque exclusivement contenu dans les urines. Quelle que soit l'espèce, il est entièrement sous forme de sels minéraux, solubles à plus de 80% dans l'eau. Par conséquent, la disponibilité par rapport aux cultures est très bonne, comparable à celle d'un engrais minéral (ZIEGLE et HEDUIT, 1991).

1.2. LES COMPOSTS ET LE COMPOSTAGE

1.2.1. Le compost

1.2.1.1. Définition

MUSTIN (1987) définit le compost comme « *un produit organique stable riche en composés humiques, issus d'une décomposition biologique des constituants organiques des sous produits et déchets.* ». Par exemple : les composts verts obtenus à partir des débris végétaux, les composts de fermentescibles alimentaires et/ou ménagères obtenus à partir de la fraction fermentescible des déchets de ménage et/ou alimentaires, les composts de fumier, les composts de lisier et les composts de boues de stations d'épuration.

Les co-composts désignent des mélanges de différents composts. Le but recherché est d'associer les qualités d'un produit à celles d'un autre, afin d'obtenir un compost de très bonne qualité.

1.2.1.2. Les intérêts des composts

Selon l'ITAB (2001), les principaux avantages qui déclenchent la décision de faire ou d'acheter du compost sont les suivants :

- la réorganisation de la matière organique sous forme de molécules plus stables ;
- la réduction de volume, qui permet de compenser le surcoût apparent du compostage, en diminuant les frais liés à l'épandage ;
- la concentration en matière sèche et en éléments minéraux ;
- l'assainissement vis-à-vis des mauvaises herbes;

- l'assainissement vis-à-vis de la plupart des phytopathogènes ;
- l'assainissement vis-à-vis de certains agents pathogènes et parasites des animaux ;
- la destruction partielle ou totale des résidus de produits phytosanitaires ;
- l'absence d'odeur désagréable ;
- la limitation des pertes d'azote nitrique;
- l'homogénéité du produit fini, qui rend l'épandage beaucoup plus performant ;
- la limitation des pertes d'azote nitrique par lessivage après épandage.

Lors du compostage, la réduction du volume est de l'ordre de moitié pour les fumiers ou les déchets verts (ITAB, 2001). Cette réduction est due aux pertes de carbone et d'eau, suivies de tassements, qui ont lieu pendant le compostage. Grâce à la diminution de masse, les composts sont plus concentrés en éléments fertilisants que les déchets dont ils sont issus.

La combinaison entre hautes températures et libération des facteurs biochimiques inhibiteurs au cours du compostage, assure la destruction des graines. Partis sur cette hypothèse, RAGDALE et *al.* (1992) constatent l'absence de graines viables de mauvaises herbes en fin de compostage, lorsque la température dépasse 60°C.

Les déjections animales contiennent des agents pathogènes et des parasites des animaux malades ou sains en état latent. L'épandage de ces déjections pour la fertilisation présente donc un risque de dissémination et de contamination pour les animaux, ou pour les hommes, aussi bien sur l'exploitation que dans le voisinage. Par conséquent, le compostage est un atout. En effet, un compostage de fumier allant de 6 semaines à 2 mois, avec 2 retournements à 7 jours d'intervalle, dans de bonnes conditions météorologiques, est une garantie d'assainissement quel que soit le type de salmonelle concerné. Par ailleurs, les analyses bactériologiques montrent que le compostage est à l'origine de la disparition de la population d'*Escherichia coli* (coli-formes fécaux provoquant des diarrhées chez les jeunes animaux) (ITAB, 2001). C'est pourquoi le compostage donne un résultat plus fiable que le fumier stocké pendant plusieurs mois (HACALA, 1998).

L'augmentation de la densité du compost, la granulométrie plus fine et l'homogénéité du produit final, permettent de mieux doser les quantités à épandre, si l'on utilise un matériel adapté, permettant ainsi de diminuer le chargement en azote sur la parcelle. Aussi, l'azote du compost est-il presque entièrement sous forme organique, d'autant plus humifiée que le compost est âgé. Ces formes organiques humifiées se dégradent lentement.

Les essais de l'unité de science du sol de l'INRA de Grignon et de l'unité de flore pathogène de Dijon ont révélé que l'addition de 10% en volume de compost de fraction fermentescible d'ordure ménagère, à un sol limoneux, permet de diminuer, voire de supprimer

le développement de la fusariose vasculaire (SERRA-WITTLING et *al.*, 1996). Les auteurs expliquent ce constat par la résistance générale (l'ensemble des micro-organismes, dans le compost, entrent en concurrence avec les agents pathogènes du point de vue des éléments nutritifs du milieu de vie). Par ailleurs, les travaux récents de NAHAR et *al.*(2006) montrent que certains composts ont un impact sur les nématodes de la tomate.

En outre, le compost présente l'avantage de diminuer la solubilité de nombreux métaux lourds dans le sol et par conséquent de réduire leur absorption par les plantes (RHODE, 1972; GARCIA-GOMEZ et *al.*, 1991 ; PINAMONTE et *al.*, 1997). Il permet de mieux valoriser les éléments fertilisants contenus dans les déchets d'élevage. En effet, les travaux menés sur ces déchets montrent que le compostage des fumiers augmente leur concentration en éléments nutritifs (POMMEL et JUSTE, 1977 ; ADRIANO, 1986 ; TEJADA et *al.*, 2006 ;).

1.2.1.3. Utilisation agronomique des composts

La maturité, la stabilité, la teneur en nutriments et les restrictions réglementaires sont les aspects fondamentaux qui déterminent l'usage agricole d'un compost (HE et *al.*, 1995 ; ITAB, 2001). Selon ces auteurs, la maturité d'un compost peut être évaluée à partir de :

- l'activité des bactéries assurant la biodégradation ;
- l'étude des caractéristiques physico chimiques ;
- et la réaction d'organismes vivants mis en présence dans le compost.

Selon ITAB (2001), la stabilité d'un compost est évaluée par les indicateurs suivants:

- le rapport C/N ;
- le coefficient isohumique ;
- l'indice de stabilité biologique ;
- le coefficient apparent d'utilisation de l'azote.

La richesse en nutriments justifie l'intérêt agricole des composts (tableau VII).

Tableau VII: Caractéristiques agronomiques moyennes de quelques composts d'ordures ménagères (en % matière sèche)

Caractéristiques	Compost de France ¹	Compost de Cotonou ²	Compost de Yaoundé ³	Compost de Bafoussam ⁴
Humidité	40,1%	30%	27%	30%
MO totale	48,5%	16%	17,7%	-
Carbone organique	26,3%	8,4%	13,6%	8,24%
N total	0,96%	0,3%	0,85%	0,63%
Rapport C/N	26,4	25	16	13
P ₂ O ₅	0,67%	0,07%	0,15%	0,014%
K ₂ O	0,74%	0,2%	1,5%	0,66%
CaO	6,1%	0,12%	0,16%	0,63%
MgO	0,66%	-	0,23%	0,12
pH	6,9	-	-	-

1= Composition moyenne à partir de 37 unités en France (BRULA et *al.*, 1995).

2= Composition moyenne issue d'une compostière artisanale à Cotonou (WASS et *al.*, 1996).

3= Composition moyenne à partir de 15 compostières artisanales de Yaoundé (NGNIKAM et *al.*, 1995).

4= Composition moyenne à partir de 5 sites de compostage artisanal à Bafoussam (CIPCRE, 1997).

Dans son ouvrage « Guide des matières organiques » l'ITAB (2001) montre que la variabilité des composts issus des déchets ménagers dépend de:

- la nature des déchets entrants;
- la technique de compostage;
- la durée de compostage ;
- la durée de stockage du compost;
- le climat local.

Ces paramètres précédemment énumérés peuvent agir isolément ou en synergie, ce qui rend complexe la compréhension de la valeur agronomique d'un compost.

L'azote est présent dans les composts de déchets ménagers sous forme organique non lessivable. Selon l'ITAB (2001) pour un meilleur équilibre microbiologique la teneur en azote organique pour les composts devrait être inclus entre les valeurs de 15 à 20. La proportion d'azote disponible la première année est de 5 à 20% (MUSTIN, 1987). Selon l'auteur, cette disponibilité serait due à la mobilité de cet élément.

La teneur en phosphore est beaucoup plus basse dans les composts des villes des pays en développement. Cet élément fertilisant est plus disponible pour les plantes que l'azote. Cette disponibilité est évaluée de 50 à 60% dès la première année (ITAB, 2001).

Le potassium et le magnésium, bien qu'en faible quantité, constituent des nutriments non négligeables pour les plantes.

1.2.2. Le compostage

1.2.2.1. Définition et principes

L'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) (1993) définit le compostage comme une transformation, dans des conditions contrôlées, des matières biodégradables en présence d'eau et d'oxygène par le biais de micro-organismes. Le produit obtenu est un amendement organique comparable à l'humus, très utile en agriculture et en jardinage. De même, l'ITAB (2001) définit le compostage comme un processus de décomposition et de transformation contrôlé des déchets organiques biodégradables, d'origine végétale et/ou animale, sous l'action des populations microbiennes diversifiées évoluant en aérobie. Cette fermentation est préférable à la fermentation anaérobie, car elle est plus rapide et se produit sans dégagement d'odeurs désagréables.

1.2.2.2. Les phases du compostage

Plusieurs paramètres (température, pH, taux d'oxygène...) présentent des variations au cours du compostage. L'évolution du pH et de la température fait partie des manifestations les plus perceptibles de la dynamique du compostage. Ainsi, les expériences de BUSTAMANTE et *al.*, (2008) ont permis de déterminer les variations du pH au cours d'un compostage (figure 1).

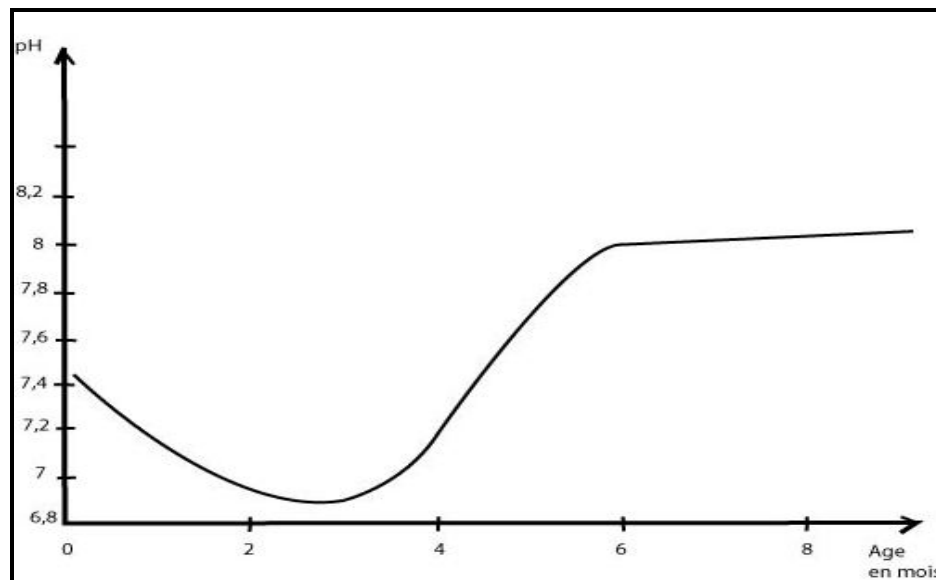


Figure 1: Evolution du pH au cours d'un compostage en aérobie

Source : BUSTAMANTE et *al.*, 2008

NAVARRO et *al.* (1993) relate que l'évolution de la température au cours du compostage permet de distinguer 4 phases: la phase mésophile, la phase thermophile, la phase de refroidissement et la phase de maturation.

La phase mésophile est la phase initiale du compostage. Les matières premières sont colonisées par les micro-organismes mésophiles indigènes. Ceux-ci absorbent les molécules simples et transforment une partie des polymères. Leur activité engendre une montée de température (de 15°C à 40°C), un dégagement important de CO₂, ainsi qu'une acidification.

La phase thermophile est atteinte, au centre du tas, à des températures élevées (de l'ordre de 60° à 70°C pour les composts agricoles) auxquelles ne résistent que les micro-organismes thermo tolérants ou thermophiles. Les pertes en azote et l'évaporation d'eau sont importantes au cours de cette phase. Les hautes températures caractérisant cette phase ne concernent que le centre du tas. Les conditions optimales pour cette phase sont présentées dans le tableau VIII.

Tableau VIII : Conditions optimales pour un compostage thermophile

Paramètre	Condition optimale
Humidité	45 – 55%
pH	pH habituel des ordures ménagères
Aération	Teneur en oxygène identique dans toutes les couches et supérieure ou égale à 10%
Rapport C/N	30
Sels nutritifs	Rajouter si nécessaire
Absence de toxicité	Important, car le compostage peut être empêché par la présence des substances toxiques
Ensemencement	Pas nécessaire si les déchets possèdent une microflore importante

Source : JUSTE et SOLDA (1977)

La phase de refroidissement est la phase intermédiaire entre la phase thermophile et la phase de maturation. Elle prend fin avec le retour à la température ambiante. Le milieu est colonisé à nouveau par les micro-organismes qui dégradent les polymères restants.

La phase de maturation présente peu d'activité microbiologique, mais est adaptée à la colonisation par la macro faune, en particulier les lombrics lorsque ceux-ci sont présents dans le tas. Les matières organiques sont stabilisées et humifiées par rapport aux matières premières mises à composter. Le pH s'équilibre vers la neutralité (GODDEN, 1986). En dehors du pH, d'autres paramètres peuvent permettre d'identifier la maturité d'un compost (tableau IX).

Tableau IX : Caractéristiques d'un compost en fin de maturation

Caractéristique	Valeur	Source
C/N	< 20	GOLUEKE, 1981
CEC	>60 meq/100g	HARADA et INOKO, 1980
NH ₄ ⁺ -N	<400 mg/kg	BERNAL et <i>al.</i> , 1998
Taux de germination	>50%	ZUCCONI et <i>al.</i> , 1981

C/N = Rapport Carbone Organique sur azote total ; CEC = Capacité d'Echange Cationique

La durée du compostage varie de 4 à 12 mois. Les trois premières phases sont relativement plus rapides par rapport à la phase de maturation. Leur durée ainsi que leur amplitude, dépendent des matériaux de départ et des conditions techniques qui prévalent pendant la fermentation.

1.3. LES AMENDEMENTS ORGANIQUES

1.3.1. Définition

Historiquement, les amendements ont été utilisés pour modifier la structure des sols. Le Larousse agricole considère comme amendement, toute substance organique ou minérale incorporée au sol en quantité importante pour améliorer les propriétés de celui-ci.

L'AFNOR (2006) entend par amendements organiques, toutes « *matières fertilisantes composées principalement de combinaisons carbonées d'origine végétale, fermentées ou fermentescibles, destinées à l'entretien ou à la reconstitution du stock de matière organique (MO) du sol et à l'amélioration de ses propriétés physiques et/ou chimiques et/ou biologiques* ». La teneur totale en N, P₂O₅ et K₂O ne doit dépasser chacune 3% (sur produit brut). En plus les pourcentages en matière sèche et en matière organique (sur produit brut), doivent être respectivement inférieurs à 30% et supérieurs à 20%. L'ITAB (2001) considère comme amendements organiques, la fraction fermentescible des déchets d'une part et les composts qui en résultent d'autre part.

Les matières fertilisantes comprennent les engrais minéraux, les engrais organiques, et les amendements, et d'une manière générale, tous les produits dont l'emploi est destiné à assurer ou à améliorer la nutrition des végétaux ainsi que les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols.

1.3.2. Les caractéristiques agronomiques des amendements organiques

Selon la nouvelle norme de l'AFNOR (2006), l'efficacité d'un amendement organique est appréciée à travers les critères suivants :

- La teneur en matières sèches par rapport au produit brut (MS) ;
- La teneur en matière organique par rapport au produit brut (MO);
- Les teneurs en éléments fertilisants majeurs : azote (N), phosphate (P_2O_5) et potasse (K_2O) ;
- Les teneurs en éléments fertilisants secondaires : oxyde de calcium (CaO) et oxyde de magnésium (MgO) ;
- La minéralisation potentielle du carbone et de l'azote.

1.4. INFLUENCE DES AMENDEMENTS ORGANIQUES SUR LA FERTILITE DU SOL

1.4.1. Influence des amendements organiques sur les propriétés physiques du sol

TEJADA et al. (2006) ont étudié la stabilité structurale d'un sol 4 ans après l'enfouissement d'amendements organiques. Ils obtiennent un effet notable de la perméabilité hydrique du sol, de la capacité de rétention en eau et de la densité apparente du sol. Ces résultats ont été obtenus bien avant par KIELH (1985) après un épandage de compost sur une période de cinq ans.

Ces résultats montrent que l'effet des amendements organiques sur les propriétés physiques du sol est perceptible uniquement lorsque les épandages se font sur une période assez longue.

1.4.2. Influence des amendements organiques sur les propriétés chimiques du sol

SNAPP et al.(1998) montre qu'en se décomposant, la matière organique libère plusieurs éléments nécessaires à la croissance des plantes. C'est en effet la source de presque la totalité de l'azote et du soufre absorbés par les plantes dans un sol n'ayant pas reçu d'apport de ces éléments sous forme d'engrais. La décomposition de la matière organique fournit aussi d'importantes quantités de phosphore, de potassium, de calcium, de magnésium, de bore, de molybdène ainsi que du cuivre et du zinc. La libération de ces éléments est lente et

progressive, en harmonie avec les besoins nutritionnels de la plante qui sont échelonnés dans le temps. Le rythme de libération maximum a lieu en saison de pluies lorsque les conditions de température et d'humidité sont favorables à la fois pour l'activité des microorganismes du sol et pour la croissance rapide des cultures. Ceci confère à la matière organique un avantage certain sur les engrais minéraux azotés et soufrés, qui tendent à être drainés par les eaux de lessivage (TERMAN et *al.*, 1973). Ces auteurs expliquent ceci par l'hypothèse selon laquelle les colloïdes humiques ont une capacité d'échange cationique élevée qui confère à la matière organique la capacité de mieux retenir les engrais, assurant ainsi une meilleure nutrition des cultures. Cette hypothèse est vérifiée par BENGTON et CORNETTE (1973) qui signalent un modeste accroissement de la capacité d'échange cationique (CEC) d'un sol argileux après épandage de doses importantes de composts.

En se décomposant, les amendements organiques libèrent certains anions (citrate, oxalate, tartrate, lactate) qui ont plus d'affinités avec les cations Fe^{3+} , Al^{3+} , Mn^{2+} et autres métaux lourds que l'ion H_2PO_4^- . Ainsi, les anions organiques vont se combiner avec ces métaux lourds libres pour former des molécules complexes, débarrassant ainsi la solution du sol de ces cations métalliques. Partis sur cette hypothèse, VISHNU et *al.* (2008) montrent que l'enrichissement d'un compost avec des oxydes de fer réduit la capacité d'absorption du cuivre par une graminée (*Lolium perenne* L.). Les mêmes auteurs montrent que la combinaison compost/zéolite réduit la capacité d'absorption du cadmium sur la même plante.

1.4.3. Influence des amendements organiques sur la biologie du sol

L'enrichissement des sols en matières organiques par épandage d'amendements organiques influence significativement les propriétés biologiques du sol (TEJADA et *al.*, 2006). Bien avant, CUINIER (1975) a montré que le compost a un rôle proche de celui du fumier dans la stimulation de la micro flore d'un sol de vignoble. Cette stimulation peut jouer un rôle important dans l'absorption des éléments nutritifs. L'impact des amendements organiques sur la microflore tellurique a été confirmé par ONWUENE et SINHA (1991) qui montrent que la matière organique en se décomposant fournit un substrat nutritif pour la multiplication d'organismes du sol dont l'activité est en retour bénéfique au sol et aux plantes.

1.5. INFLUENCE DES AMENDEMENTS ORGANIQUES SUR LA CULTURE DES LEGUMES

Les divers effets d'une application des amendements organiques sur les caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques du sol se traduisent le plus souvent sur la plante par une meilleure croissance et une augmentation de rendement par rapport aux témoins. Cet effet est plus perceptible sur le rendement frais que sur le rendement sec, même en condition d'alimentation d'eau favorable. De tels effets ont été constatés sur laitue par JUSTE et SOLDA (1977), sur la morelle africaine (noire) par MBOGNING (2000) et sur l'amarante potagère par NZILA et *al.* (2007).

Tout récemment, BUSTAMANTE et *al.* (2008) ont testé sur la culture de la laitue deux co-composts. Ces derniers sont constitués d'un mélange de sous produits agro industriels et des déchets d'élevage. Les résultats de ces travaux montrent que les co-composts n'ont pas eu d'effet significatif sur la germination de la laitue. Cependant une différence a été observée sur la masse fraîche. Les auteurs expliquent ces résultats par l'amélioration de la fertilité du sol que l'on observe à la suite des épandages.

Cependant, JUSTE et SOLDA (1977) notent qu'une application de compost immature cause une déficience en azote sur la laitue. FIORAMONTI et MARTY (1966) donnent, pour la résistivité du compost à 80 % d'humidité, des valeurs comprises entre 87 et 139 ohms/cm/cm². On peut dès lors se poser la question de savoir si le mélange terre-compost ne risque pas d'avoir une concentration saline trop élevée, qui augmenterait temporairement la pression osmotique jusqu'à des valeurs incompatibles avec le développement racinaire normal. Ces mêmes auteurs constatent qu'une dose de 100 t/ha de compost peut abaisser la résistivité en dessous des seuils dangereux pour la plante, ce qui n'est pas le cas pour le fumier, même à 200 t/ha.

1.6. INFLUENCE SOCIO-ECONOMIQUE DES AMENDEMENTS ORGANIQUES

L'importance socio-économique liée à l'utilisation des amendements organiques peut se réduire à la création des emplois et à la génération des revenus. Ainsi, une étude de l'ADEME (1993) montre que le nombre d'emplois créés pour une collectivité de 100 000 habitants qui génèrent 420 kg de déchets/habitant/an, est compris entre 20 – 35, selon le tonnage collecté. L'adjonction d'une filière de valorisation agricole entraîne une

augmentation de 25% d'emplois. Aussi, OUL TOURAD et *al.* (2003) montrent-ils que la collecte des déchets ménagers constitue une source de revenu non négligeable en Mauritanie.

1.7. RISQUES ENVIRONNEMENTAUX DES AMENDEMENTS ORGANIQUES

Les critères d'innocuité des amendements organiques tels que retenus par la nouvelle norme de l'AFNOR (2006) sont les suivants :

- les microbes pathogènes ;
- les métaux lourds ;
- les composés traces organiques et substances inertes indésirables.

1.7.1. Les microbes pathogènes

Les risques sanitaires sont liés à une éventuelle contamination des populations humaines, des animaux et de l'environnement par les microorganismes pathogènes contenus dans les matières organiques brutes ou compostées. Ces matières peuvent héberger quatre types de microorganismes pathogènes : les parasites, les bactéries, les virus et les champignons. La nouvelle norme de l'AFNOR retient comme microbe pathogène, devant faire l'objet d'une évaluation dans les amendements organiques, les micro-organismes ci après : œuf d'helminthes viables, *Listeria monocytogène* et la Salmonelle. Ces pathogènes sont responsables de bons nombres de maladies, parmi lesquelles celles contenues dans le tableau X. Par ailleurs, MENSAH (2006) et ROUSE (2006) montrent que l'amélioration du système de gestion des déchets urbains contribue significativement à l'assainissement environnemental. C'est ainsi que les travaux menés par MOSLER et *al.* (2006) à Cuba montrent qu'une bonne gestion des déchets permet de contrôler les germes pathogènes.

Les facteurs déterminants pour la destruction de ces agents pathogènes dans le compost sont la chaleur et les réactions aboutissant à la production d'antibiotiques (GOLUEKE et DIAZ, 1990). Des expériences montrent que la destruction des germes pathogènes est efficace si une température de 70°C est maintenue pendant 30 minutes dans l'ensemble du tas, ou 65°C pendant plusieurs heures (DE BERTOLDI et *al.*, 1983). Cependant la résistance à la température de certains germes pathogènes (*Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* et Entérocoque) fait d'eux des agents indicateurs de traitement des composts (CHABALIER et *al.*, 2006).

Tableau X: Quelques maladies provoquées par des microorganismes pathogènes contenus dans les ordures ménagères

Groupe	Microorganisme pathogène	Pathologie	Valeur seuil	Température létale (°C)
Parasites	Parasites intestinaux (coccidies, cryptosporidies)	Entérite hémorragique		
	Vers parasites, taenia et <i>Ascaris spp</i>	Strongyloses gastro-intestinales, téniasis, ascaridioses, cysticérose		55°C en quelques minutes
Virus	Entérovirus	Méningite, fièvre, éruption cutanée, poliomyélite		
	Hépatovirus	Hépatites		
	Rotavirus	Gastro-entérite		
Bactéries	<i>Salmonella spp</i>	Fièvre typhoïde ou toxo-infection alimentaire	Absent dans 25g	55°C (en une heure) 60°C (en 15-20 minutes)
	<i>Clostridium botulinum</i>	Botulisme		
	<i>Listeria spp</i>	Listériose, méningite, septicémie, méningo-encéphalite	Absent dans 25g	
	<i>Campylobacter</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Shigella spp</i>	Inflammation de la muqueuse intestinale		55°C (en une heure)
	<i>Mycobacterium paratuberculosis</i> et <i>Brucella</i>	Brucellose et paratuberculose		67°C en quelques instants

Source : CHABALIER et al., 2006

1.7.2. Les métaux lourds

Les matières organiques, généralement utilisées pour la fertilisation des cultures, peuvent contenir des métaux lourds. L'expression « métaux lourds » désigne pour les chimistes, des métaux de numéro atomique élevé, de densité supérieure à 5 g/cm³ et qui forment des sulfures insolubles (LEMIERE et al., 2008).

Sur le plan environnemental, PARROT et al. (2008) considèrent le compostage d'ordures ménagères comme une méthode judicieuse de traitement et de stockage définitif des déchets solides. Néanmoins, la contamination potentielle des sols agricoles par les composts d'ordures ménagères brutes insuffisamment triées contenant des concentrations élevées des sels de métaux lourds, constitue un problème fondamental de pollution de l'environnement (LEMIERE et al., 2008). Par ailleurs, les produits agricoles pouvant contenir des traces métalliques (cuivre et zinc) sont les fumiers et les lisiers (ITAB, 2001).

Plusieurs études concernent le comportement des métaux dans les sols et l'eau du sol, leur disponibilité et les modalités de leur passage dans les plantes et dans la chaîne alimentaire. Ces résultats ont permis de mettre au point des conseils et des réglementations en matière d'apport d'éléments traces métalliques dans les sols via le recyclage des déchets transformés ou non. On peut résumer ces recommandations en trois points :

- il est indispensable de maintenir le pH du sol supérieur à 6 pour limiter la disponibilité des métaux les plus mobiles, tels que le cadmium et le zinc ;
- il faut être très prudent si on utilise des déchets sur les cultures maraîchères dont les feuilles sont consommées car certains métaux, comme le cadmium, s'accumulent préférentiellement dans les parties foliaires ;
- à long terme, il est absolument nécessaire de respecter les limites en termes de quantités apportées, mais aussi de teneurs maximales admissibles dans les sols (tableau XI)

Tableau XI : Valeurs seuils des métaux lourds dans les amendements organiques et dans les sols destinés à l'épandage.

Métaux lourds	Seuil dans les amendements organiques (mg/kg MS)	Seuil dans les sols destinés à l'épandage (mg/kg MS)
Cd (cadmium)	3	2
Cr (chrome)	120	150
Cu (cuivre)	300	100
Hg (mercure)	2	1
Ni (nickel)	60	50
Plomb (plomb)	180	100
Zn (zinc)	600	300
Se (sélénium)	12	-
As (Arsenic)	18	-
Source	Nouvelle Norme AFNOR (2006)	CHABALIER et <i>al.</i> , 2006

Parmi les métaux lourds contenus dans ces amendements, le plomb, le mercure et le cadmium sont les plus dangereux. Cependant les produits d'origine agricole comme les fumiers contiennent surtout du cuivre et du le zinc (ITAB, 2001).

Les travaux menés sur les composts en Europe et en Afrique montrent que la teneur en métaux lourds d'un compost est fortement influencée par sa région d'origine (tableau XII).

Tableau XII: Teneur en métaux lourds des composts de déchets ménagers (en mg/kg)

Caractéristiques	Compost de France ¹	Compost de Cotonou ²	Compost de Yaoundé ³
Zinc	1,179	0,157	0,314
Cuivre	0,445	0,02	0,058
Plomb	0,394	0,092	0,165
Nickel	0,059	0,005	0,03
Chrome	0,072	0,011	0,149
Cadmium	0,0043	0,0003	0,001
Mercur	0,004	-	-

1= Composition moyenne à partir de 37 unités en France (BRULA et *al.*, 1995).

2= Composition moyenne issue d'une compostière artisanale à Cotonou (WASS et *al.*, 1996).

3= Composition moyenne à partir de 15 compostières artisanales de Yaoundé (NGNIKAM et *al.*, 1995).

Dans une région, l'activité majeure plus que nul autre facteur est à l'origine des métaux lourds contenus dans les composts (WALLACE et WARRICK 2000). Ainsi, les teneurs relativement élevées enregistrées dans les pays développés, s'expliquent par la forte activité industrielle de ces pays. Par ailleurs, SMITH (1992) montre que la concentration en métaux lourds d'un compost dépend du matériel mère, aussi bien que de la technique de compostage.

L'accumulation des métaux lourds, suite aux épandages dans le sol, peut entraîner des risques de toxicité pour la flore, la faune et les populations humaines (APV Compost, 2001). L'absorption racinaire est l'une des voies principales de contamination de la chaîne alimentaire par les métaux lourds (CHABALIER et *al.*, 2006).

Les expériences d'utilisation du compost comme support de cultures maraîchères montrent qu'il y a un accroissement significatif de la teneur en zinc, en cuivre et en bore dans les laitues (PURVES et MACKENZIE, 1973; JUSTE et SOLDA, 1977). Cependant, les apports massifs de compost n'ont eu aucun indice sur l'accumulation du plomb dans les légumes, susceptibles d'altérer leur qualité hygiénique. En effet, le zinc, le cuivre, le bore et dans la moindre mesure le plomb, s'accumulent dans les végétaux et présentent une certaine biodisponibilité souvent parallèle à leur mobilité dans le sol (LEMIERE et *al.*, 2008).

Par ailleurs, KHIM-HEANG et CORVI (2000) observent dans la laitue 0,7 mg/kg de plomb, 13,8 mg/kg de cuivre et 57 mg/kg de zinc. Selon ces auteurs, ces teneurs sont très faibles par rapport à la norme de l'OMS/FAO. Aussi ils constatent que la teneur en éléments métalliques dans la laitue est d'autant plus importante que le sol en contient. Cependant, ils

notent qu'il n'y a pas de corrélation significative entre la teneur en métaux du sol et celle des laitues. WILKINS (1978) montre que l'augmentation du pH réduit la mobilité en métaux, par conséquent réduit leur absorption par les plantes. De même, GIORDANO et MAYS (1977) montrent que l'augmentation de la CEC réduit l'absorption des métaux lourds par les plantes.

1.7.3. Les composés organiques traces et substances inertes indésirables

Les nuisances causées par les composés organiques traces et les substances inertes indésirables sont en discussion. La norme française qui régit l'épandage des amendements organiques en France a en projet les critères présentés dans le tableau XIII.

Tableau XIII: Les critères d'innocuité des substances inertes et composés organiques traces

Nature	Critère d'innocuité	Valeur seuil
Inertes indésirables	Plastiques > 5mm	< 0,8 % MS
	Verre + métaux > 2mm	< 2 % MS
Composés organiques traces	Fluoranthène	4 mg/kg de MS
	Benzofluoranthène	2,5 mg/kg de MS
	Benzopyrène	1,5 mg/kg de MS

Source : CHABALIER *et al.*, 2006

En résumé, les amendements organiques présentent un intérêt agronomique certain résultant de leurs influences sur la fertilité des sols. Sur culture de laitue, l'usage des amendements organiques a montré une augmentation des rendements. Cependant, les risques de pollution dus aux métaux lourds et/ou aux microbes pathogènes sont les principales contraintes de l'épandage de ces amendements. Ces résultats ne peuvent être généralisés, car ils sont liés au contexte dans lequel ils ont été obtenus. Ceci justifie l'intérêt de mener une étude de cas dans la localité de Yaoundé.

CHAPITRE 2

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Ce chapitre décrit la zone dans laquelle l'étude est menée. Il localise cette zone, présente les milieux (physique et humain) et les sites sur lesquels sont conduits les essais.

2-1 LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

Nkolondom est un village de la commune de Yaoundé I (département du Mfoundi, Région du centre), sur l'axe national N°1. Ce village est localisé entre les longitudes 11°25' – 11° 35' E et les latitudes 3°50' - 4°00' N comme le présente la figure 2.

2-2 MILIEU PHYSIQUE

Nkolondom appartient à la zone climatique équatoriale de type guinéen. Ce climat se caractérise par quatre saisons:

- une grande saison sèche de décembre à février ;
- une petite saison pluvieuse de mars à juin ;
- une petite saison sèche de juillet à août ;
- et une grande saison pluvieuse de septembre à novembre.

Le diagramme ombro thermique de la zone est bimodal (figure 3). La température moyenne annuelle est de 23°C. L'amplitude thermique annuelle est de 2,4°C. La pluviométrie annuelle est de l'ordre de 1510 mm. La zone est parsemée de collines (700 – 800 m) qui entourent le mont Nkolondom. Ces collines sont séparées par des bas-fonds drainés pour la plupart, par des cours d'eau intermittents. Le paysage présente une forêt dégradée par l'activité anthropique.

Le socle est un gneiss recouvert d'un manteau latéritique dont la nature et l'épaisseur varient avec le paysage. Sur les sommets supérieurs à 800m, la roche affleure, ainsi le sol y est presque inexistant. L'épaisseur du sol augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche des bas fonds. Sur les sommets, les sols sont ferralitiques rouges (KUETE, 1977). Dans les bas fonds, ils sont hydromorphes.

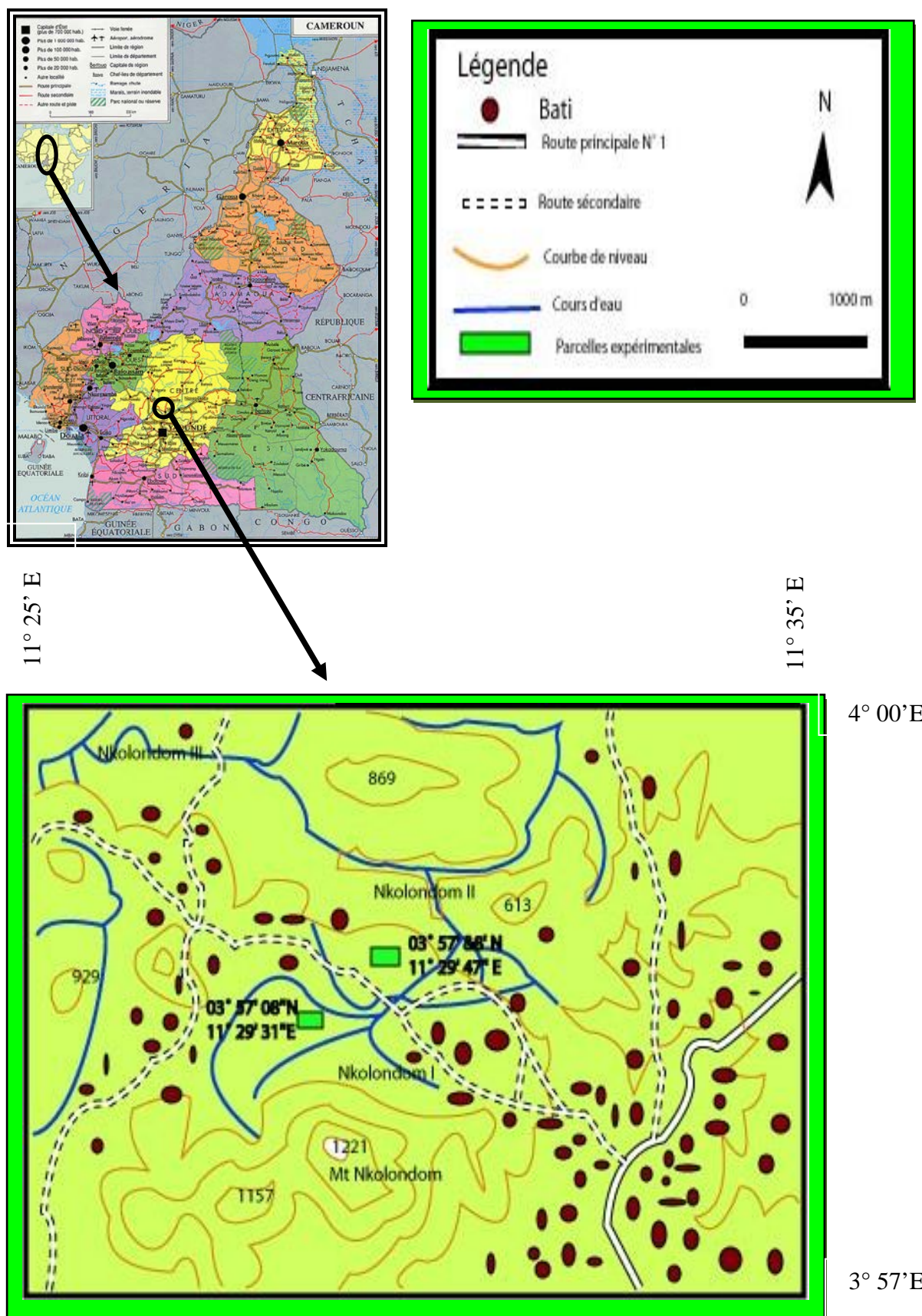


Figure 2 : Localisation de la zone d'étude

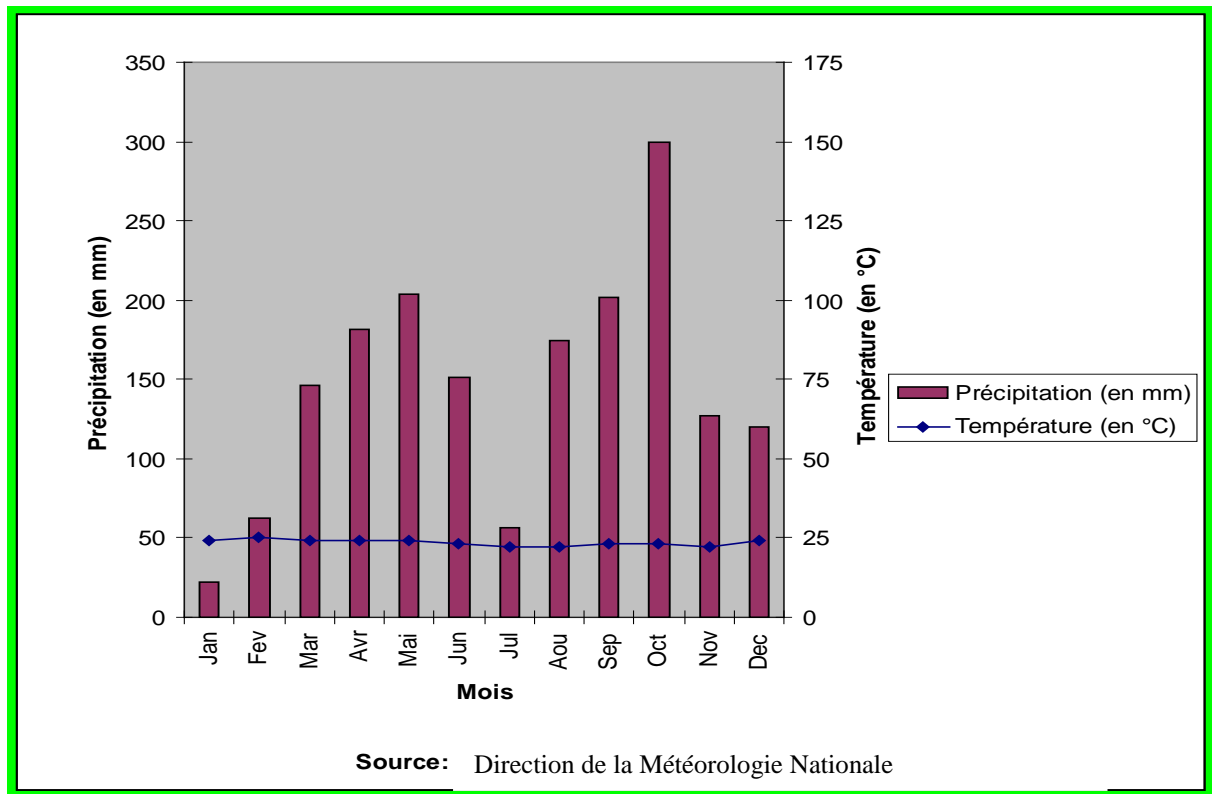


Figure 3 : Diagramme ombro thermique de la zone de Yaoundé

2-3 MILIEU HUMAIN

Le milieu humain comprend les groupes socioculturels de la localité, ainsi que leurs activités.

2-3-1 Groupes socioculturels

Deux groupes ethniques se reconnaissent autochtones à Nkolondom ; il s'agit des Ewondo et des Etons. L'arrivée de ces peuples dans la localité date d'avant l'époque coloniale. L'expansion de la ville et de l'agriculture péri urbaine va favoriser l'installation de nouveaux peuples, notamment les Bamiléké et les Haoussa. L'activité agropastorale occupe la première place au sein de cette population.

2-3-2 Activités agropastorales

L'agriculture et l'élevage constituent les principales activités des paysans de Nkolondom. En plus, on y trouve le petit commerce et les services publics.

2-3-2-1 Agriculture

La cacaoculture et la production légumière sont les activités agricoles majeures du paysan de Nkolondom.

- **La cacaoculture**

Les plantations de cacaoyer se situent sur les flancs de collines, à 2 ou 3 kilomètres du village. Ces plantations sont pour la plupart issues de l'héritage. Elles sont âgées de 30 – 50 ans. Il est probable que la variété cultivée ici soit l'Amazona (MARQUIS, 2005). Les arbres fruitiers plantés en association avec le cacaoyer, ont de multiples rôles : En même temps qu'ils créent de l'ombre pour le cacaoyer, ils marquent les limites du territoire et leur production est valorisée par les producteurs soit par une autoconsommation du ménage soit par la vente sur le marché. De nombreuses espèces ont été recensées : les manguiers (*Mangifera indica*), les avocatiers (*Persea americana*), les kolatiers (*Cola spp.*), les safoutiers (*Dacryodes edulis*), les orangers (*Citrus sp.*)...Les pratiques culturales sont peu nombreuses sur le cacaoyer, les plus délicates étant la lutte contre les maladies et la récolte.

Le travail dans les plantations démarre en mai avec un premier défrichage à la machette (dans de rares cas au désherbant). La végétation est éliminée afin de faciliter la circulation entre les arbres et lutter ainsi contre les maladies et les ravageurs. Aux mois de mars et avril, les fleurs et les premières cabosses sont présentes sur le tronc des arbres, mais les pluies augmentent également les risques de développement de maladies fongiques. Les traitements doivent alors démarrer. Un planteur ne peut assurer qu'une pulvérisation tous les 15 à 21 jours avec les produits présentés dans le tableau XIV. La lutte contre la pourriture brune (*Phytophthora palmivora*) est privilégiée par rapport à la lutte contre les insectes lorsque les moyens sont limités. Les principaux ravageurs sont : les poux du cacaoyer (*Distantiella theobroma*, *Sahlbergella singularis*) et les mirides (*Helopeltis theivora*). Deux traitements sont conseillés pour cette lutte, l'un après la floraison et l'autre après la récolte. Bien souvent, les agriculteurs utilisent un seul insecticide à large spectre qu'ils administrent en même temps que le fongicide. Les pulvérisations peuvent être interrompues en juillet et août, pendant la petite saison sèche, car les risques d'infections sont limités.

Tous les pesticides du tableau XIV sont appliqués à l'aide d'un pulvérisateur manuel. La majorité des producteurs n'utilisent que des fongicides cupriques conditionnés dans des sachets doses. Cependant le nombre de pulvérisateurs à l'hectare n'est pas toujours respecté.

L'insuffisance des traitements phytosanitaires est compensée par une bonne prophylaxie qui permet de limiter la propagation des maladies. Une taille sanitaire est effectuée régulièrement.

Tableau XIV : Pesticides utilisés dans la cacao culture à Nkolondom

Nature	Nom du pesticide	Matière active	Dose recommandée
Fongicide	RIDOMIL PLUS 66 WP	600 g/kg Cu(OH) ₂	200 g / ha
	KOCIDE 101	Cu(OH) ₂	240 g/ha
	CAOCOBRE	56% CuO	300 g/ha
	NORDOX	Oxyde cuivreux	160 g/ha
Insecticide	CYPERCAL	Cyperméthrine	
	DECIS 25 EC	Delthaméthrine	100 ml/ha
	THIODAN 50 EC	Andosulfan 500 g/L	200 ml / ha

Source : adapté de NANGA, 2008

Depuis la chute des prix du kilogramme de cacao, les agriculteurs ont abandonné progressivement la culture du cacaoyer au profit de la production légumière.

• La production légumière

Plus de la moitié des paysans produisent les légumes dans les bas fonds. La proximité du marché et la présence des bas fonds sont des atouts pour cette culture. Les légumes couramment cultivés dans la localité sont présentés dans le tableau XV. Ils peuvent être répartis en deux groupes :

- les légumes feuilles non conventionnels souvent qualifiés de « traditionnels », car ils sont issus d'espèces sauvages et consommées depuis longtemps par les populations autochtones.
- les légumes feuilles conventionnels, qui ont été introduits par les colons et qui sont essentiellement destinés à la commercialisation.

Les légumes feuilles traditionnels sont souvent appréciés des petits maraîchers, car ils nécessitent moins de soins et de traitements chimiques. De plus, la récolte est possible un mois et demi après le semis, ce qui permet un apport en trésorerie rapide. Enfin, si l'écoulement de ces produits sur le marché est difficile, ils peuvent être autoconsommés par la famille. Ces légumes sont cultivés en culture pure ou associée avec les légumes conventionnels.

Les légumes conventionnels présentent plus de risques pour le producteur, ceci est dû à l'abondance de ces légumes sur le marché, l'investissement plus élevé et la pression parasitaire importante. Ces cultures peuvent être mises en terre tout le long de l'année, mais

les producteurs synchronisent leur récolte avec la rentrée scolaire de septembre et les grandes fêtes religieuses. Le céleri et la laitue constituent les pivots du système cultural de ces bas fonds. Ces cultures sont exigeantes en intrants et en travail, mais sont aussi les plus rémunératrices.

Tableau XV: Cultures légumières rencontrées à Nkolondom

Nom Commun	Nom scientifique	Variété utilisée	Durée en pépinière	Durée en champ	Nature du cycle
Laitue « salade »	<i>Lactuca sativa</i>	Blonde de Paris Pierre Bénie Tésier blonde	3 – 4 semaines	1,5 mois	Cycle court
Morelle noire « Zo'om »	<i>Solanum nigrum</i>	Tout venant	3 semaines	1 mois	
Corète potagère « tégue »	<i>Corchorus olitorius</i>	Tout venant	3 semaines	1 mois	
Amarante	<i>Amaranthus sp.</i>	Tout venant	3 semaines	1 mois	
Céleri	<i>Apium graveolens</i>	Doigts verts Plein blanc Pascal SGN	1,5 mois	7 mois	Cycle long
Persil	<i>Petroselinum crispum</i>		1,5 mois	5 mois	
Piment	<i>Capsicum frutescens</i>		1 mois	10 mois	
Oignon vert	<i>Allium cepa</i>		1 mois	2 mois	Cycle Moyen

Source : Adapté de MARQUIS, 2005

Les pratiques culturales utilisées pour la production des légumes feuilles dans cette localité sont homogènes. Elles s'articulent en sept opérations : la pépinière, le labour et repiquage, la fertilisation, le sarclage, l'arrosage, les traitements phytosanitaires et la récolte.

Après épandage de la fiente de poule pondeuse, le semis est effectué à la volée en pépinière. La planche est protégée par une feuille de palmier pour limiter les dégâts dus aux intempéries. La densité de semis est souvent élevée pour les légumes « conventionnels » car le pouvoir germinatif de ces semences est souvent faible. Le semis est réalisé indépendamment de la saison, sauf pour le piment qui est semé en mai.

La parcelle est d'abord défrichée à la machette, une fois le précédent cultural récolté. Les herbes sont jetées dans les fossés. Dans de nombreux cas, ces débris sont enfouis après avoir été séchés au soleil pendant deux semaines. L'agriculteur peut changer la direction des billons lorsqu'il observe une baisse de rendement qui se traduit par une diminution de la taille des feuilles ou de la durée de récolte. Un labour superficiel est réalisé par les hommes à l'aide d'une pelle-bêche sur environ 20 cm de profondeur. En cas d'indisponibilité une main d'œuvre payante (500 Fcfa/ billon) peut être sollicitée.

Une fois les parcelles labourées, les plants sont repiqués à l'aide d'un plantoir. Au cours de cette phase les plants subissent un stress considérable, raison pour laquelle l'opération est effectuée en matinée ou en soirée afin d'éviter les grosses chaleurs.

Des apports réguliers d'amendements minéral et organique sont réalisés au cours du cycle cultural. La fumure organique est constituée de fiente de poule pondeuse ou de fumier poulet de chair épandu une à deux semaines après le repiquage à la dose de 2 – 8 kg /m². Cette fumure organique est combinée à un apport de NPK 20.10.10 à la dose de 25 – 100 g/m². Ces engrais sont épandus à la volée sans enfouissement. Si le producteur constate un ralentissement de la croissance, un supplément d'engrais peut être apporté, à la dose de 3-4 cuillères à café d'urée dans un arrosoir de 15 litres d'eau.

Si la fertilisation améliore la croissance des plants, elle favorise également le développement de mauvaises herbes. Une à deux semaines après chaque fertilisation, lorsque les mauvaises herbes couvrent entièrement le billon, les producteurs procèdent à un sarclage pour freiner la compétition due à ces mauvaises herbes. Cette opération est réalisée à la main par les femmes et/ou les enfants. Elle nécessite une attention particulière pour éviter d'arracher les jeunes pousses. Ce désherbage est parfois sélectif, notamment pour les pousses de légumes traditionnels qui sont apparues spontanément. Le temps alloué à cette opération est d'environ 50 minutes par planche (MARQUIS, 2005).

L'arrosage est quotidien et s'effectue deux fois la journée. La quantité d'eau apportée est de 1 à 1,5 arrosoir de 15 litres par mètre carré. Cette opération se révèle comme la plus contraignante, surtout en saison sèche ; pour arroser 200 m² il faut environ 2 heures de temps par jour, tandis qu'en saison pluvieuse on a besoin d'une heure tous les deux jours pour effectuer le même travail.

En pépinière, les traitements phytosanitaires sont réalisés en cas de besoin. À partir du repiquage, le producteur effectue systématiquement une à deux pulvérisations par mois. Ces pulvérisations sont composées d'un mélange des pesticides présentés dans le tableau XVI.

Les doses de traitement sont très variables et il est difficile de donner une moyenne d'utilisation des produits phytosanitaires. Les écarts d'utilisation sont liés à la méconnaissance des produits mais également aux moyens financiers de chaque producteur.

Tableau XVI: Pesticides utilisés en maraîchage à Nkolondom

Nature	Traitements	Matière active	Efficacité
Fongicides	PLANTINEBE	Manèbe à 80%	Large spectre
	IVOIRY 80	Mancozèbe	
	PENNZOZEB 80 WP		
	CAOCOBRE	Oxyde de cuivre à 56%	
	KOCIDE101	Hydroxyde de cuivre	
Insecticides	DECIS	Deltaméthrine	Pucerons, aleurodes, noctuelles défoliatrices
	THIDAN 50 EC	Andosulfan à 500g/L	Large spectre
	CYPERDIM	Cyperméthrine + Diméthoate	Noctuelles défoliatrices
	CYPERCAL	Cyperméthrine	Noctuelles défoliatrices
Insecticides - Nématicides	FURAPLANT 10 G	10% Carbofuran	Insectes et nématodes du sol

Source: Adapté de MARQUIS, 2005

2-3-2-2 Elevage

L'élevage n'est pas une activité récente dans la région. Les animaux en divagation sont réservés pour l'autoconsommation. Depuis moins d'une dizaine d'années, certains agriculteurs se sont orientés vers l'élevage intensif à des fins commerciales. Cette activité regroupe principalement l'élevage des poules pondeuses, des poulets de chair et des porcs. Les sous produits de ces élevages sont recyclés dans la production légumière, ce qui fait actuellement l'objet d'un commerce. Au nombre de ces sous produits on a les fientes et les fumiers.

2.4. LES SITES D'ETUDES

Les deux essais de cette étude ont été conduits dans deux sites (figure 2): le site 1 à Nkolondom II et le site 2 à Nkolondom III. Les cours d'eau Essas et Nga Kouna longent respectivement ces sites. Les parcelles expérimentales ont été confectionnées sur des planches ayant reçu plusieurs cycles de légumes feuilles produits dans la localité.

CHAPITRE 3

MATERIELS ET METHODES

Ce chapitre présente les matériels utilisés dans l'étude, puis décrit les procédures ayant permises d'atteindre les objectifs fixés précédemment.

3.1. MATERIELS

Le matériel utilisé dans l'étude est constitué d'un matériel végétal, des matières fertilisantes, des outils aratoires, du matériel de laboratoire, un GPS, un appareil photo et des logiciels informatiques.

3.1.1. Matériel végétal

Afin d'évaluer l'impact des amendements organiques sur le rendement d'une culture, la laitue (*Lactuca sativa*) est utilisée comme matériel végétal. Cette plante appartient à la famille botanique des Composées. La durée du cycle de culture et la capacité à réagir aux amendements justifient le choix de cette plante. Les caractéristiques de la variété utilisée sont présentées dans le tableau XVII.

Tableau XVII : Caractéristiques de la variété de laitue utilisée dans l'étude

Caractéristique d'Identification	Valeur
Nom commercial	BATAVIA
Variété cultivée	Blonde de Paris
Marque	TROPICA
Unité commerciale	Boite de 100g
N° du lot	7699-076

La laitue est caractérisée par un système d'enracinement superficiel qui explore les 20 premiers centimètres du sol. L'eau est le constituant majeur de la laitue (95%). L'augmentation des disponibilités en azote se traduit généralement par une augmentation du poids des laitues. Mais, un enrichissement en nitrate augmente l'incidence des maladies sur la plante et déprécie fortement la qualité des récoltes (THICOIPE, 1997). Les besoins de la culture sont présentés dans le tableau XVIII. Les rendements de la culture varient de 5 à 15 t/ha (CIRAD – GRET, 2002).

Tableau XVIII : Besoins en éléments fertilisants de la laitue

Phase de culture	Besoins en éléments fertilisants (en kg/ha)		
	N	P	K
Avant plantation	65	75	90
En cours de culture	45	-	100
Total	110	75	190

Source : Mémento de l'agronome (CIRAD – GRET, 1980).

Les phases de la culture sont présentées dans le tableau XIX. L'expérimentation s'est poursuivie durant deux cycles dans la mesure où les amendements organiques restituent lentement les nutriments qu'ils contiennent. Les principales activités en champ se sont déroulées conformément au calendrier présenté par l'annexe 3.

Les plantules en pépinière étaient protégées des aléas climatiques par une ombrière. Les repiquages étaient effectués en soirée afin de réduire le stress subi par les plantules. La lutte phytosanitaire s'est effectuée contre la pourriture des feuilles et les chenilles de noctuelle qui cisailent les jeunes tiges. Un traitement a été effectué en pépinière et deux en champ par cycle de culture. Au deuxième cycle de culture, la préparation du sol s'est réduite à un binage.

Tableau XIX : Conduite de la culture pendant l'essai

Phase de la culture	Période d'exécution	Opération culturale	Nature et dose du produit
CULTURE EN PEPINIERE		Préparation du lit de semis	Labour : 15 cm profondeur Planche : 8m x 1m Désinfection : Furaplant 10G (1g par m ²) Interligne : 20 cm Fumure de fond : compost (45 kg par planche)
	1 semaine après préparation du lit de semis	Semis	Semence : laitue (Blonde de Paris) Dose : 10 g de semences par planche
	2 semaines après semis	Traitement phytosanitaire	Cyperméthrine (Cypercal 100 EC) + mancozèbe (Penncozeb 80WP)
		Désherbage	Manuel
	Quotidiennement	Arrosage	10 l d'eau par planche
CULTURE EN CHAMP	2 semaines après semis	Préparation du sol (planche photographique 1)	Labour : 30 cm profondeur 8 Planches : chacune mesurant 10m x 1m et subdivisé en 4 parcelles de 2 m de long et espacé de 40 cm Fumure de fond : conformément aux traitements expérimentaux,
	2 semaines après la préparation du sol	Repiquage (planche photographique 2)	Opération effectuée en fin d'après midi, selon un écartement de 25 cm x 25 cm
	Quotidiennement	Arrosage	4 arrosoirs de 10 l par planche de 10 m ²
	2 semaines après repiquage	Désherbage Traitement Phytosanitaire	Manuel ou à la houe Insecticide : Cypercal 100 EC (2 cuillères à soupe par pulvérisateur de 15 litres) Fongicide : Penncozeb 80WP (3 cuillères à soupe par pulvérisateur de 15 litres)
	4 semaines après repiquage	Récolte (planche photographique 3)	



Planche photographique 1 : Quelques étapes de la préparation du lit de semis



Planche photographique 2 : Quelques étapes du repiquage des plants



Planche photographique 3 : Quelques étapes de la récolte

3.1.2. Matières fertilisantes

Les matières fertilisantes utilisées étaient des amendements organiques et des engrais minéraux.

3.1.2.1. Les amendements organiques

Les amendements organiques utilisés dans le cadre de cette expérimentation étaient un compost issu d'ordures ménagères et des fumiers de poulet de chair.

- **Compost d'ordures ménagères**

Ce compost est produit par un centre artisanal à Bafoussam (Ouest – Cameroun). Il s'agit d'un mélange de déchets solides d'origine domestique. Ils sont collectés chez des particuliers, sans tri préalable. Au centre, ils subissent un tri partiel, puis sont compostés en tas comme le présente la planche photographique 4. La durée du compostage varie de 4 à 6 mois. À la fin du compostage, le produit qui en résulte est tamisé puis emballé sans broyage préalable.



Planche photographique 4: Quelques étapes de fabrication du compost à partir des déchets urbains
Source : Serge SIMON, Mai 2008

- **Fumier de poulet de chair**

Le fumier utilisé est un mélange de déjections de poulet de chair et de la litière, issu d'un élevage dont la durée varie de 45 à 60 jours. Dans cet élevage, la densité de volaille était en moyenne de 12 poulets par mètre carré tandis que le volume de litière épandu était de 20 kg de copeaux de bois blanc par mètre carré.

En fin d'élevage, le fumier est évacué du bâtiment d'élevage et stocké. La durée de stockage est fonction de l'écoulement du fumier sur le marché. Ainsi, deux types de fumier ont été utilisés (planche photographique 5) :

- au site 1, un fumier de poulet de chair de deux semaines de stockage ;
- au site 2, un fumier de poulet de chair de sept semaines de stockage.

La disponibilité de ces fumiers au moment de l'essai et leur préférence par les producteurs ont justifié ce choix.



Planche photographique 5 : Fumiers de poulet de chair expérimentés
Source : Serge SIMON, Mai 2008

3.1.2.2. Engrais minéraux

Pour pallier aux insuffisances des amendements organiques, des engrais minéraux ont été apportés en complément. Il s'agit de l'urée (46 %N), des engrais complexes de formulation NPK 20-10-10 et 12-14-19. Ces engrais ont été achetés sur le marché local au prix de détail.

3.1.3. Outils aratoires

Le petit matériel de jardinage a été utilisé dans la conduite des parcelles. Il s'agissait : des machettes, des dadas, des binettes, des arrosoirs, d'un double-décamètre, d'un

transplantoir et de jalons. En dehors de ce matériel, une balance commerciale de capacité 10 kg a été utilisée pour les pesées.

3.1.4. Appareils de laboratoire

Les différents échantillons collectés ont été analysés en laboratoire. Les analyses des propriétés physiques, chimiques et des métaux lourds ont été effectuées au laboratoire d'analyse des sols, plantes, engrais et eaux (LASPEE) de l'IRAD de Nkolbisson. Les analyses microbiologiques ont été effectuées au Centre Pasteur de Yaoundé.

3.1.5. Les logiciels utilisés

Les logiciels ci-après ont été utilisés :

- Microsoft Word pour la saisie du texte ;
- Microsoft Excel comme tableur;
- Adobe illustrator 9.0 pour le dessin assisté sur ordinateur ;
- Minitab. 15, pour l'analyse des régressions ;
- SAS, pour l'analyse de la variance.

3.2. METHODES

Le potentiel agronomique et les risques environnementaux des matières fertilisantes ont été évalués par la méthode décrite par DAVIDESCU et DAVIDESCU (1982). Cette méthode est basée sur l'expérimentation en champ, complétée par des analyses chimiques de sol, de plantes et des amendements organiques.

3.2.1. Evaluation agronomique des amendements organiques

Pour évaluer l'impact des amendements organiques sur la fertilité du sol, des types de fertilisations ont été élaborés. Ceux-ci ont été testés dans deux essais suivant un dispositif expérimental en blocs de Fisher randomisés. Les performances de ces types de fertilisation ont été appréciées par des variables de réponse collectées en champ puis traitées statistiquement.

3.2.1.1. Types de fertilisation

Dans le premier essai, huit types de fertilisation ont été comparés durant deux cycles de culture (tableau XX). Ceux-ci ont été élaborés sur la base des besoins en éléments nutritifs de la laitue. Les apports théoriques en éléments fertilisants majeurs des types de fertilisation sont présentés par l'annexe 1. Le principe de mise en place de ces types de fertilisation est de satisfaire les besoins en azote de la laitue par les amendements organiques et compléter les déficits qui en résultent par les engrais minéraux. Les besoins en matière fertilisante pour chaque type de fertilisation sont calculés comme présenté par l'annexe 2. Les conversions utilisées pour déterminer les différents types de fertilisation sont présentés par l'annexe 6.

Dans le second essai, deux courbes de réponse ont été obtenues à partir de quatre doses de fumier et trois doses de compost (tableau XXI). Ces doses sont définies de telle manière que les besoins de la laitue soient compris entre les doses minimale et maximale.

Les épandages se sont effectués à la volée pour la fertilisation paysanne et enfouis sur 10 à 20 cm pour les fertilisations expérimentales. Les amendements organiques étaient appliqués en fumure de fond une semaine avant le repiquage et l'engrais chimique était appliqué en fumure d'entretien deux semaines après le repiquage.

3.2.1.2. Dispositif expérimental

Les essais ont été conduits dans un dispositif en blocs randomisés à quatre répétitions (figure 4 et photo 6).

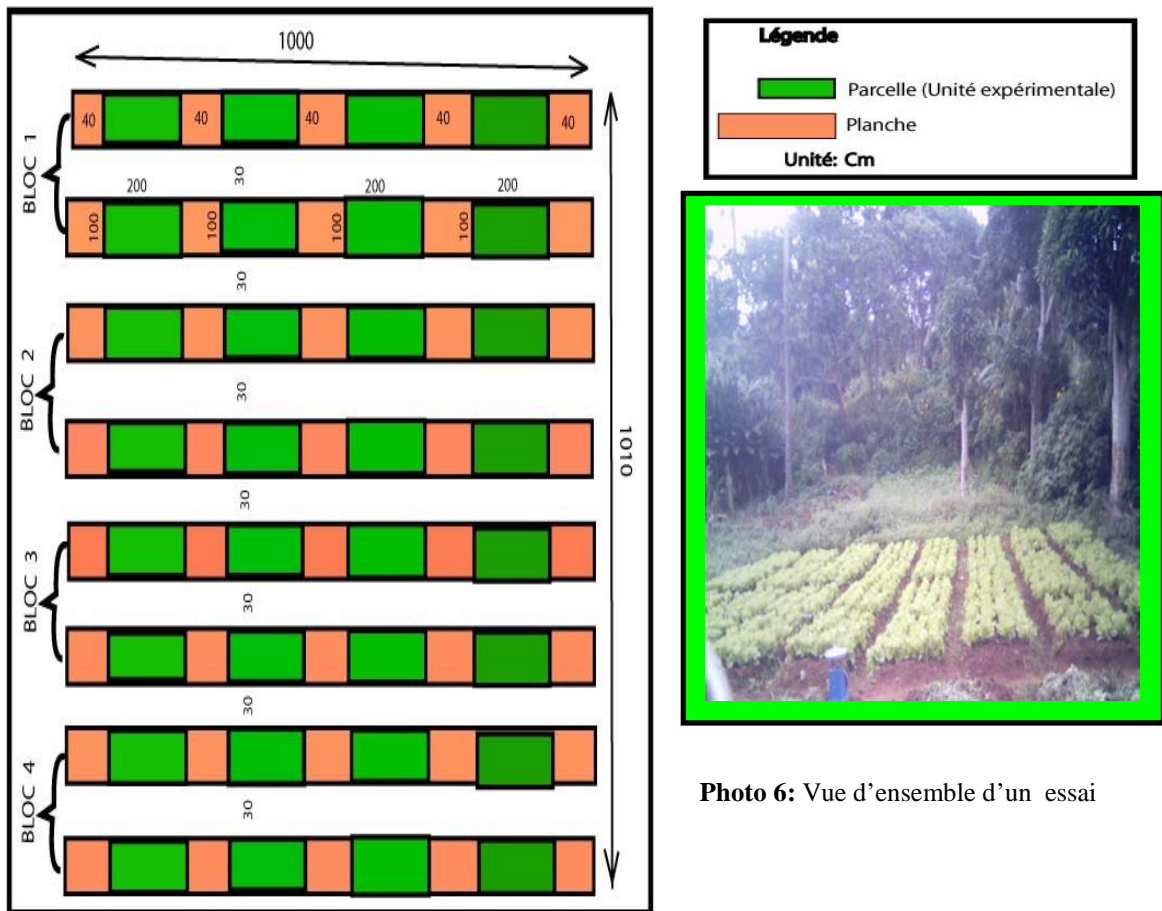


Photo 6: Vue d'ensemble d'un essai

Figure 4: Dispositif expérimental

Tableau XX: Composition des types de fertilisations expérimentés dans l'essai 1

Type de fertilisation	Code	Premier cycle de culture	Second cycle de culture
Témoin	T0	AUCUNE FERTILISATION	AUCUNE FERTILISATION
Pratique paysanne	T1	Fumure d'entretien: 3,8 kg/m ² de fumier poulet de chair + 54,2 g/m ² de 20 10 10	Fumure d'entretien: 3,8 kg/m ² de fumier poulet de chair + 54,2 g/m ² de 20 10 10
Fumier de poulet de chair (F)	T2	Fumure de fond : 4,8 kg/m ² de fumier poulet de chair	AUCUNE FERTILISATION
Compost d'ordures ménagères (C)	T3	Fumure de fond : 47 kg/m ² de compost	AUCUNE FERTILISATION
Engrais minéral (E)	T4	Fumure de fond : 54,2 g/m ² de NPK 12 14 19 Fumure d'entretien: 37,5 g/m ² de NPK 12 14 19	Fumure d'entretien: 37,5 g/m ² de NPK 12 14 19
Compost + Engrais minéral (C + E)	T5	Fumure de fond : 27,8 kg/m ² de compost Fumure d'entretien: 10 g/m ² d'urée	Fumure d'entretien: 10 g/m ² d'urée
Fumier + Engrais minéral (F + E)	T6	Fumure de fond : 2,8 kg/m ² de fumier de poulet de chair Fumure d'entretien: 37,5 g/m ² de NPK 12 14 19	Fumure d'entretien : 37,5 g/m ² de NPK 12 14 19
Compost + Fumier + Engrais minéral (C + F + E)	T7	Fumure de fond : 13,9 kg/m ² de compost + 1,4 kg/m ² de fumier de poulet de chair Fumure d'entretien: 10 g/m ² d'urée	Fumure d'entretien : 10 g/m ² d'urée

Tableau XXI : Composition des types de fertilisations expérimentés dans l'essai 2

Type	Code	Premier cycle de culture	Second cycle de culture
Pratique recommandée	T0	Fumure de fond : 54,2g/m ² de NPK 12 14 19	Fumure de fond : 54,2g/m ² de NPK 12 14 19 ;
		Fumure d'entretien : 37,5 g/m ² de NPK 12 14 19	Fumure d'entretien : 37,5 g/m ² de NPK 12 14 19 ;
Fertilisations expérimentales	T1	Fumure de fond : 0,1 kg/m ² de fumier poulet de chair	Fumure de fond : 0,1 kg/m ² de fumier poulet de chair ;
	T2	Fumure de fond : 1 kg/m ² de fumier poulet de chair	Fumure de fond : 1 kg/m ² de fumier poulet de chair ;
	T3	Fumure de fond : 5 kg/m ² de fumier poulet de chair	Fumure de fond : 5 kg/m ² de fumier poulet de chair ;
	T4	Fumure de fond : 15 kg/m ² de fumier poulet de chair	Fumure de fond : 15 kg/m ² de fumier poulet de chair ;
	T5	Fumure de fond : 1 kg/m ² de compost	Fumure de fond : 1 kg/m ² de compost ;
	T6	Fumure de fond : 10 kg/m ² de compost	Fumure de fond : 10 kg/m ² de compost ;
	T7	Fumure de fond : 50kg/m ² de compost	Fumure de fond : 50kg/m ² de compost ;

3.2.1.3. Variables de réponses

Les performances de chaque type de fertilisation ont été déterminées à travers les paramètres ci-après : le rendement frais de la laitue, la variation du niveau de fertilité du sol et la teneur en éléments fertilisants majeurs dans les parties aériennes de la laitue.

- **Le rendement frais de la laitue**

Le rendement frais par type de fertilisation était obtenu à travers la production des parcelles, à la fin de chaque cycle de culture.

- **La variation du niveau de fertilité du sol**

Deux prélèvements de sol ont été effectués dans le premier essai afin de déceler la différence qui en résulte. Le premier prélèvement a été effectué avant le début de l'expérimentation ; il a donné l'état initial de la fertilité du sol. Le second prélèvement a été effectué à la fin du second cycle de culture. Ce dernier prélèvement a donné le niveau de fertilité du sol après les diverses fertilisations en comparaison. La fertilité de chaque parcelle était déterminée sur la base des caractéristiques ci-après :

- la matière organique (teneur en matière organique, en carbone organique, en azote total et le rapport C/N) ;
- l'acide phosphorique (P_2O_5): phosphore assimilable et total ;
- l'acidité échangeable : concentration en ions aluminium et hydronium (Al^{3+} et H_3O^+) ;
- les bases échangeables : concentration en ions calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), potassium (K^+) et sodium (Na^+), somme des bases (S), capacité d'échange cationique (CEC) et taux de saturation (V) ;
- l'acidité / alcalinité (pH-eau et pH-KCl).

- **La teneur en éléments fertilisants majeurs dans la partie aérienne de la laitue.**

Elle est déterminée à partir des teneurs en azote (N), en phosphore (P) et en potassium (K).

3.2.1.4. Collecte des données

Les données collectées sur le terrain étaient : des échantillons de la production par parcelle expérimentale, des échantillons de sols, des échantillons de laitue et des échantillons d'amendements organiques.

3.2.1.4.1. Prélèvement des échantillons de la production sur une parcelle expérimentale

La production de chaque parcelle expérimentale était obtenue à partir de 12 plants récoltés au premier cycle de laitue. Pour annuler l'effet bordure et l'effet du voisinage. Ces effets représentent l'influence que peut avoir les alentours de la parcelle sur les cultures. Ainsi, pour ne pas biaiser les résultats, les récoltes se sont effectuées uniquement dans la partie centrale de la parcelle expérimentale comme le présente la figure 5 et la photo 7. Ainsi les plants situés à la périphérie n'ont été pris en compte dans l'échantillonnage.

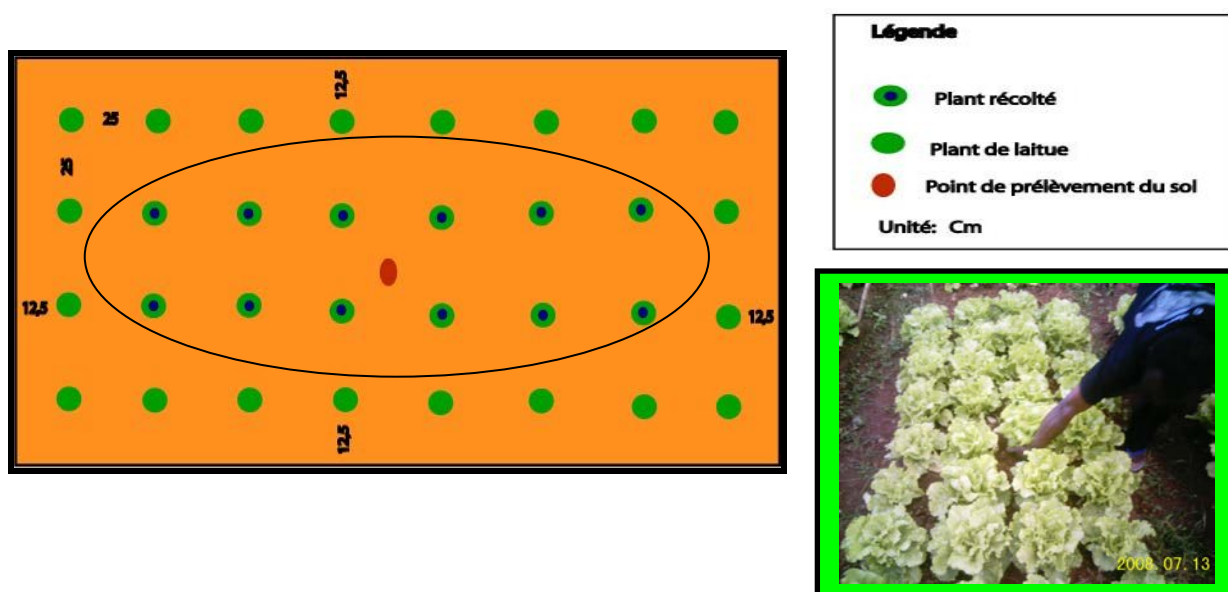


Photo 7: Récolte d'un plant sur une parcelle

Figure 5: Prélèvement des échantillons sur une parcelle expérimentale

3.2.1.4.2. Prélèvement des échantillons de sol

Les échantillons de sol ont été prélevés comme l'indique la figure 6. Au premier prélèvement, un échantillon composite a été obtenu d'un mélange homogène de 32 échantillons issus de l'ensemble des parcelles expérimentales. Au second prélèvement, chaque niveau de fertilisation est représenté par un échantillon composite issu d'un mélange homogène de 4 échantillons. Ces derniers représentent chacun les répétitions d'un niveau de fertilisation.

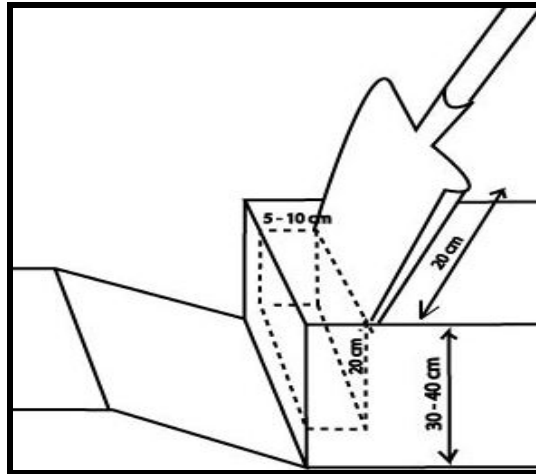


Figure 6: Prélèvement d'un échantillon de sol

3.2.1.4.3. Prélèvement des échantillons de laitue

Les échantillons de laitue ont été prélevés au second cycle de culture. Chaque échantillon était constitué d'une demi-laitue issue de 12 plants récoltés par parcelle expérimentale (figure 7). Ces échantillons ont été utilisés pour déterminer la teneur en éléments fertilisants majeurs dans les laitues.

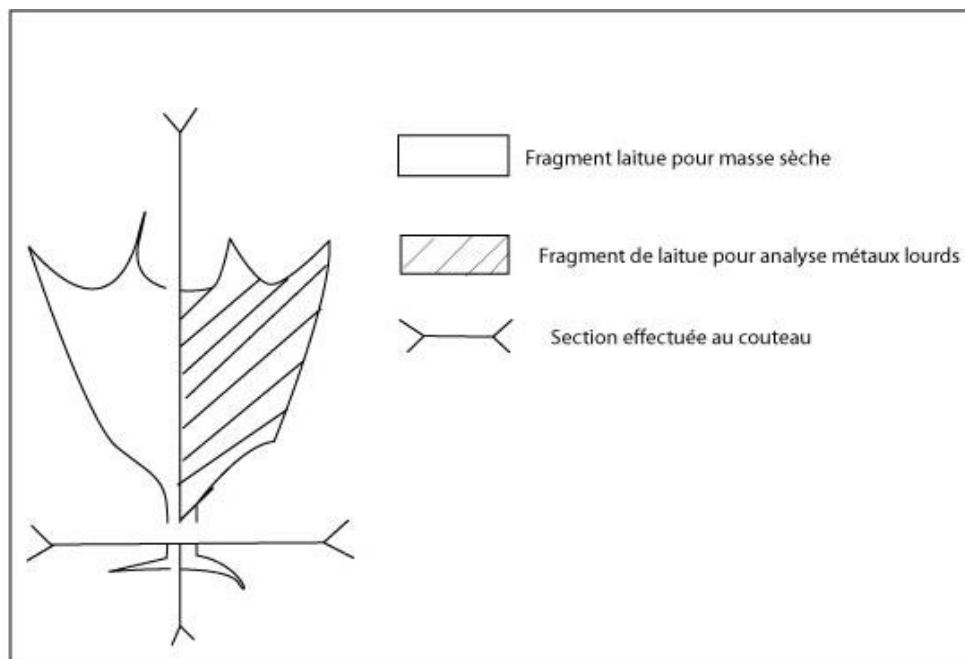


Figure 7: Prélèvement des échantillons sur feuille de laitue

3.2.1.4.3. Prélèvement des échantillons d'amendements organiques

La valeur agronomique des amendements organiques a été obtenue à partir des échantillons composites. Dans chaque sac, un échantillon d'amendement a été prélevé. Les échantillons ainsi prélevés sont homogénéisés. De ce mélange homogène, un échantillon composite était extrait et soumis à l'analyse.

3.2.1.5. Traitement des données

Les productions collectées en champ sont converties en rendement. L'analyse de la variance et de la régression a été effectuée par le test de Fischer (1950). L'analyse de la variance (ANOVA) a été effectuée selon la procédure GLM (General Linear Model). La séparation des moyennes a été faite selon DUNCAN et selon LSD (Least Significant Difference qui est une application du t-test). Toutes les probabilités étaient appréciées au seuil de 5%.

3.2.2. Evaluation de l'impact des amendements organiques sur le coût de fertilisation

L'impact des amendements organiques sur le coût de fertilisation de la laitue a été déterminé à partir d'un ratio économique (R). Ce ratio représente le coût de la fertilisation nécessaire pour produire un kilogramme de laitue. Il est calculé par la formule ci-dessous.

$$R \text{ (en F cfa/Kg)} = \frac{\text{Coût d'achat matière fertilisante pour deux cycles de culture (en F cfa/m}^2\text{)}}{\text{Rendement cumulé pour deux cycles de culture (Kg/m}^2\text{)}}$$

La détermination du coût d'achat de la matière fertilisante pour les deux cycles de laitue s'est effectuée à partir des prix sur le marché local (tableau XXII). Le rendement cumulé s'obtient par la somme des rendements des deux cycles de laitue. Il convient de noter que ce ratio (R) est une donnée brute. En effet, il ne prend pas en compte certaines charges telles que le coût du transport et le coût d'épandage. Les paramètres ayant permis de calculer ce ratio (R) sont donnés dans l'annexe 9. Les données issues de ce calcul ont subi une analyse de la variance et un test comparatif au seuil de probabilité de 5%.

Tableau XXII : Prix d'achat des matières fertilisantes sur le marché local

Amendement	Unité Commerciale (UC)	Prix de l'UC (en F CFA)	Prix du Kilogramme (en F CFA)
Fumier de poulet de chair	Sac de 40 kg	1500	37,5
Compost issu d'ordures ménagères		2000	40
Urée	Sac de 50 kg	19 000	
NPK 20 10 10		18 500	400
NPK 12 14 19		23 500	500

UC = Unité Commerciale

3.2.3. Evaluation de l'impact des amendements organiques sur l'assainissement des villes.

L'impact de l'usage des amendements organiques sur l'assainissement des villes est estimé par un « *coefficient d'assainissement* » (M'). Ce coefficient représente la masse d'ordures ménagères éliminées ou recyclées, pour produire un kilogramme de laitue. Il est calculé par la formule suivante.

$$M' = \frac{\theta \cdot M}{100 \cdot \lambda \cdot r}$$

M = Masse amendement organique utilisée (en kg/m²)
 M' = Masse d'ordures ménagères éliminée ou recyclée (en kg)
 θ = Pourcentage fermentescible des ordures ménagères (en %)
 λ = Rendement matière de la transformation
 r = Rendement cumulé (en kg/m²)

Les paramètres θ et λ utilisés dans cette formule sont données par le tableau XXIII

Tableau XXIII : Rendement matière et pourcentage fermentescible des déchets bruts.

Paramètre	Déchets bruts	
	Ordures ménagères	Fumier de poulet de chair
Θ (en %)	79 % (1)	100 (3)
λ	0,35 (2)	1 (3)

Θ = pourcentage fermentescible ; λ = Rendement matière ; 1= fermentescible des ordures ménagères de Bafoussam (NGNIKAM et TANAWA, 2006), 2= rendement matière compostage des ordures ménagères dans la sous région d'Afrique centrale (NGNIKAM, 2000) ; 3= valeurs attribuées au fumier de poulet de chair n'ayant subi aucune transformation préalable (auteur).

Les données issues de ce calcul ont subi une analyse de la variance et un test comparatif au seuil de probabilité de 5%.

3.2.4. Evaluation des risques liés à l'usage des amendements organiques

L'innocuité des amendements organiques est évaluée à partir des analyses des microbes pathogènes et des métaux lourds.

3.2.4.1. L'analyse des microbes pathogènes

L'analyse microbiologique s'est effectuée au Centre Pasteur de Yaoundé. Cette analyse a consisté en la mise en évidence de trois micro-organismes dans les échantillons d'amendements organiques. Ces micro-organismes sont: *Campylobacter*, *Escherichia coli* et *Salmonelle*.

Deux échantillons composites de fumier de poulet de chair ont été prélevés : l'un immédiatement dans des sacs à la sortie de l'élevage et l'autre dans des sacs prêts à l'épandage. De même, deux échantillons composites de compost issu d'ordures ménagères ont été prélevés : l'un dans des sacs à la sortie de la phase de compostage et l'autre dans des sacs de compost prêts à l'épandage après conservation.

3.2.4.2. L'analyse de la teneur en métaux lourds

L'analyse des métaux lourds a été effectuée au LASPEE de l'IRAD de Nkolbisson à partir d'échantillons de sol, de feuilles, de fumier de poulet de chair et de compost issu d'ordures ménagères. Dans ces échantillons, trois métaux lourds sont recherchés. Il s'agit du Cuivre (Cu), du Zinc (Zn) et du Plomb (Pb).

Un échantillon composite de sol a été prélevé (figure 6). Celui-ci est obtenu par un mélange homogène de quatre échantillons issus des répétitions d'un même niveau de fertilisation.

Les échantillons de feuilles de laitue ont été prélevés sur les blocs 2 et 4. Chaque niveau de fertilisation était représenté par une demi-laitue prélevée comme l'indique la figure 7.

Les échantillons composites stockés de fumier de poulet de chair et de compost issu d'ordures ménagères ont été prélevés des sacs mis à la disposition de l'étude. Par ailleurs les échantillons composites frais ont été prélevés à la ferme et au centre de compost au moment des analyses.

CHAPITRE 4

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Ce chapitre présente les résultats obtenus de ce travail. Ces résultats donnent d'une part les caractéristiques des sols des sites dans lesquels les essais se sont déroulés. Aussi donne-t-il les caractéristiques agronomiques des amendements utilisés. D'autre part il présente les impacts agronomiques, économique et environnementaux des amendements organiques expérimentés. De ces résultats, une discussion est faite par rapport à la littérature disponible.

4.1. RESULTATS

4.1.1. Caractéristiques des sols des différents sites avant essai

Les essais se sont effectués en deux sites, chez deux producteurs distincts. A cause de l'hétérogénéité observée au niveau du sol dans le site 2, celui-ci a été subdivisé en deux (site 2 A et site 2 B). Les résultats issus de l'analyse des échantillons de sol prélevés dans ces sites avant la mise en place des essais sont présentés par le tableau XXIV.

Tableau XXIV : Caractéristiques des sols par site avant la culture

Type d'analyse	Caractéristiques	Sol site 1	Sol site 2 A	Sol site 2 B
Granulométrie (en %)	Argile	26.9	19.5	27.2
	Limon fin	5.9	7.6	6.4
	Limon grossier	8.8	5.5	8.7
	Sable fin	13.1	15.7	12.9
	Sable grossier	43.1	54.1	42.9
Classe texturale (FAO)		LAS	LS	LAS
Matière organique (en %)	M.O.totale	4.64	6.42	7.93
	C.O.	2.70	3.73	4.61
	N total	0.21	0.29	0.32
	C/N	12.86	13.86	14.40
Acide phosphorique BRAY II (en mg/kg)	Phosphore Assimilable	3.29	5.68	5.93
Bases échangeables (en cmol/kg)	Ca²⁺	5.60	5.84	4.02
	Mg²⁺	1.05	1.04	0.91
	K⁺	0.52	0.49	0.41
	Na⁺	0.05	0.03	0.04
	S	7.22	7.40	5.38
	CEC	8.79	10.49	10.14
	S/ CEC	82.14	70.54	53.06
Acidité/Alcalinité (1 : 2,5)	pH-eau	6.2	6.8	6.4
	pH-KCl	6.5	5.6	5.6

Deux classes texturales ont été identifiées : les sols des sites 1 et 2 B ont une texture sablo argilo limoneuse tandis que le sol du site 2 A est sablo limoneux. Conformément au guide proposé par BEERNAERT et BITONDO (1992) présenté par l'annexe 4, les sols sur lesquels se sont déroulés les essais sont :

- légèrement acides dans tous les sites (pH eau variant de 6,2 à 6,8) ;
- la somme des bases échangeables est modérée (5,38 à 7,40 cmol/kg);
- La teneur en matière organique est élevée dans le site 1 et très élevée dans les sites 2A et 2B ;
- La capacité d'échange cationique est faible (8,79 à 10,49 cmol/kg) ;
- La teneur en azote est élevée dans tous les sites (0,21 à 0,32 %) ;
- La teneur en phosphore assimilable est très faible dans tous les sites.

Les sols sur lesquels ont été conduits les essais présentent un niveau de fertilité assez élevé, notamment en ce qui concerne la teneur en matière organique. Cette richesse est certainement liée au précédent cultural de ces sites. En effet, avant l'essai, ces sites ont abrité plusieurs cycles de légumes sur lesquels étaient appliquées des matières fertilisantes organiques. Malgré cette richesse en matière organique, un apport supplémentaire se justifie compte tenu de la minéralisation rapide de cette matière organique en zone tropicale.

4.1.2. Caractéristiques agronomiques des amendements organiques

Compte tenu de la disponibilité des amendements organiques au moment du déroulement des essais, deux types de fumier ont été utilisés. Les caractéristiques de ces amendements sont présentées par le tableau XXV. Comparativement à la norme de l'AFNOR (2006), les matières fertilisantes utilisées dans cette étude peuvent être qualifiées d'amendement organique dans la mesure où la teneur en azote, phosphore et potassium est assez faible. Cependant ces amendements sont de mauvaise qualité car ils contiennent assez de matière sèche (> 30% matière brute). Aussi leurs teneurs en matière organique sont-elles médiocres (< 20% matière brute). La forte teneur en matière sèche constatée dans ces amendements est certainement liée à la mauvaise technique utilisée pour leur production. En effet ces amendements sont en permanence en contact avec le sol au cours de leur fabrication (planche photographique 4), ce qui favorise une intrusion considérable des terres.

Tableau XXV : Caractéristiques agronomiques des amendements organiques expérimentés

Caractéristiques	Amendements organiques		
	Compost d'ordures ménagères	Fumier de poulet de chair 1	Fumier de poulet de chair 2
MS % MB	86,11	70,62	75,98
MO en % MB	9.77	15.14	15.50
C.O. % MB	5.68	8.80	9.01
N total en % MB	0.52	0.61	0.62
N-NH ₄ en mg/kg	16	42,30	22,92
C/N	10.92	14.43	14.53
P ₂ O ₅ en mg/kg	36.10	14.59	14.77
K ⁺ en meq/100g	1.98	5.32	5.42
Ca ²⁺ en meq/100g	11.16	0.86	2.72
Mg ²⁺ en meq/100g	2.04	2.50	3.86
CEC en meq/100g	18.64	30.22	37.50
S en meq/100g	15.26	9.19	12.65
S/ CEC	81.87	30.41	33.73
pH-eau	7.4	7.9	7.6

4.1.3. Impacts agronomiques des amendements organiques expérimentés

4.1.3.1. Performances des amendements organiques sur le rendement frais de la laitue

Le tableau XXVI montre que l'effet bloc n'a pas eu une influence significative, au seuil de 5%, sur le rendement frais de la laitue au premier cycle de culture. Cependant, les types de fertilisation expérimentés ont eu un effet très hautement significatif sur ce rendement.

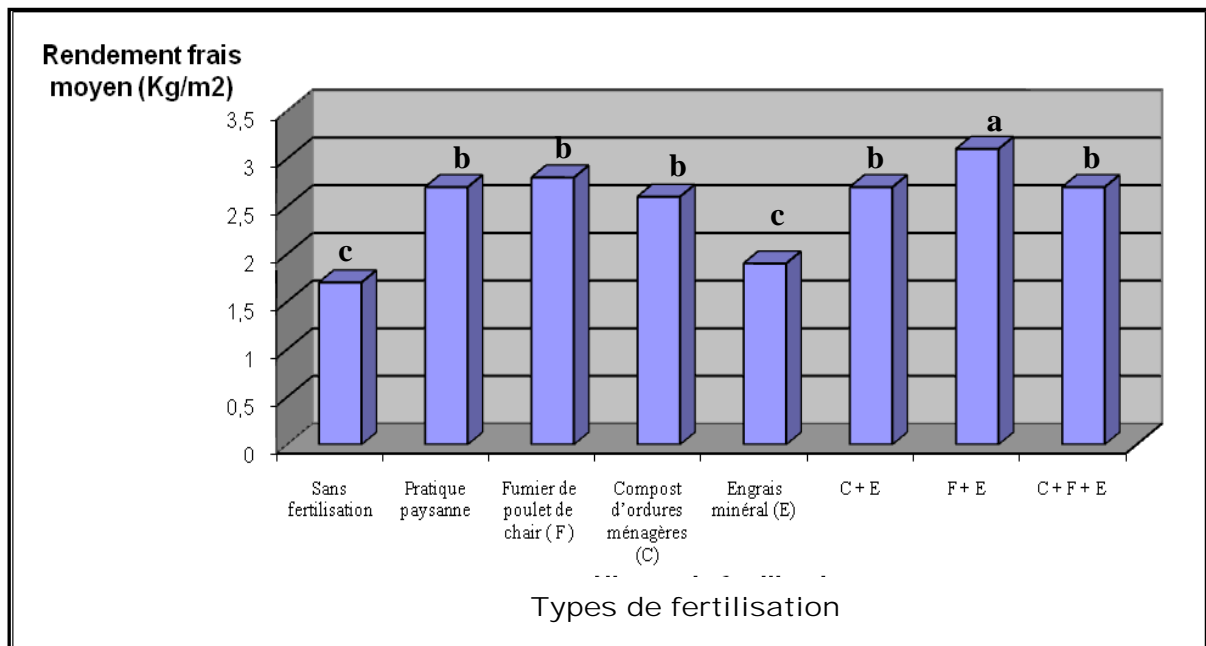
Les rendements frais de laitue obtenus à la première récolte présentent l'effet immédiat des matières fertilisantes expérimentées lors de cette étude. Ces rendements sont présentés par la figure 8. Les rendements potentiels de la laitue, proposés par le mémento de l'agronome, sont compris entre 0,5 kg/m² et 1,5 kg/m² (CIRAD-GRET, 2002) soit en moyenne 1 kg/m². Sur les parcelles n'ayant reçu aucune fertilisation, le rendement moyen de laitue a été de $1,700 \pm 0,17$ kg/m². Cette performance reste dans la fourchette des rendements potentiels de la laitue. Les besoins en éléments nutritifs de la laitue étant faibles (THICOIPE, 1997), elle a bénéficié du précédent cultural de ces parcelles.

Tableau XXVI: Analyse de la variance des niveaux de fertilisation sur rendement frais de la laitue au premier cycle de culture.

Source de variation	Degré de liberté	Carré moyen	Valeur F	Pr.> F
Bloc	3	0.013	0.43	0,637 ns
Types de fertilisation	7	0.894	28.72	0,0001**

ns = non significatif au seuil de probabilité 5% ; ** = très hautement significatif au seuil de probabilité 5%

Comparativement au témoin, la pratique paysanne améliore significativement le rendement frais de la laitue. Les parcelles ayant été fertilisées conformément à cette pratique ont donné un rendement moyen de $2,733 \pm 0,17 \text{ kg/m}^2$. Ce résultat représente le double du rendement potentiel moyen de la laitue, tel que proposé par le mémento de l'agronome. Cette amélioration de rendement se présente comme l'une des raisons de l'adoption de cette pratique par les maraîchers de la localité.



Les niveaux de fertilisation surmontés d'une même lettre ne ont pas significativement différent au seuil de probabilité de 5%.

Figure 8: Rendement frais de laitue en fonction des types de fertilisation au premier cycle cultural

Au premier cycle de laitue, le meilleur rendement a été observé sur les parcelles ayant reçu une combinaison fumier + engrais (photo 8). Le rendement frais moyen de laitue enregistré sur ces parcelles est de $3,133 \pm 0,17 \text{ kg/m}^2$. Comparativement au témoin et à la pratique paysanne, cette fertilisation procure respectivement une augmentation de rendement de $1,4 \text{ kg/m}^2$ et de $0,4 \text{ kg/m}^2$.

Les rendements frais de laitue enregistrés sur les parcelles ayant reçu soit du fumier, soit du compost, soit la combinaison compost + engrais, soit la combinaison compost + fumier + engrais, ne sont pas significativement différent au seuil de probabilité de 5%. Ceci montre que ces fertilisations ont toutes le même effet sur le rendement frais de la laitue au premier cycle de culture. Ces parcelles ont donné respectivement les rendements moyens de $2,750 \pm 0,17 \text{ kg/m}^2$, $2,583 \pm 0,17 \text{ kg/m}^2$, $2,683 \pm 0,17 \text{ kg/m}^2$, et $2,733 \pm 0,17 \text{ kg/m}^2$. Les résultats observés sur les parcelles ayant été fertilisées par du compost ou du fumier, montrent l'effet immédiat de ces amendements.

Le rendement moyen de laitue sur les parcelles ayant reçu uniquement de l'engrais minéral est de $1,932 \pm 0,17 \text{ kg/m}^2$. Au seuil de probabilité de 5%, ce rendement n'est pas différent de celui observé sur les parcelles non fertilisées. Comparativement à la pratique paysanne, ce rendement est nettement inférieur.

Au premier cycle de laitue et sur la base du rendement frais, les niveaux de fertilisation expérimentés sont classés comme suit : fumier + engrais > fumier \geq compost + fumier + engrais \geq pratique paysanne \geq compost + engrais \geq compost > engrais minéral \geq témoin.

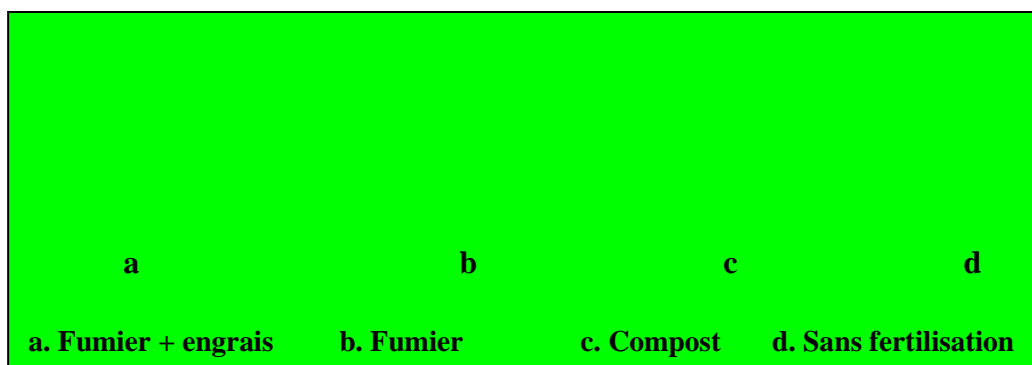


Photo 8 : Plants de laitue issus de quelques types de fertilisation au premier cycle de culture

Dans le souci d'évaluer l'arrière effet des amendements expérimentés, un second cycle de culture de la laitue a été effectué. Au cours de cette culture les parcelles ayant reçu précédemment les types de fertilisation expérimentés, n'ont plus été fertilisées. L'analyse de la variance des données observées au cours de cet essai est présentée par le tableau XXVII. De ce dernier il ressort que les blocs n'ont pas eu un effet significatif au seuil de probabilité de 5%. Mais les types de fertilisation ont un effet très hautement significatif sur le rendement frais de la laitue au second cycle de culture.

Tableau XXVII: Analyse de la variance des niveaux de fertilisation sur rendement frais de la laitue au second cycle de culture

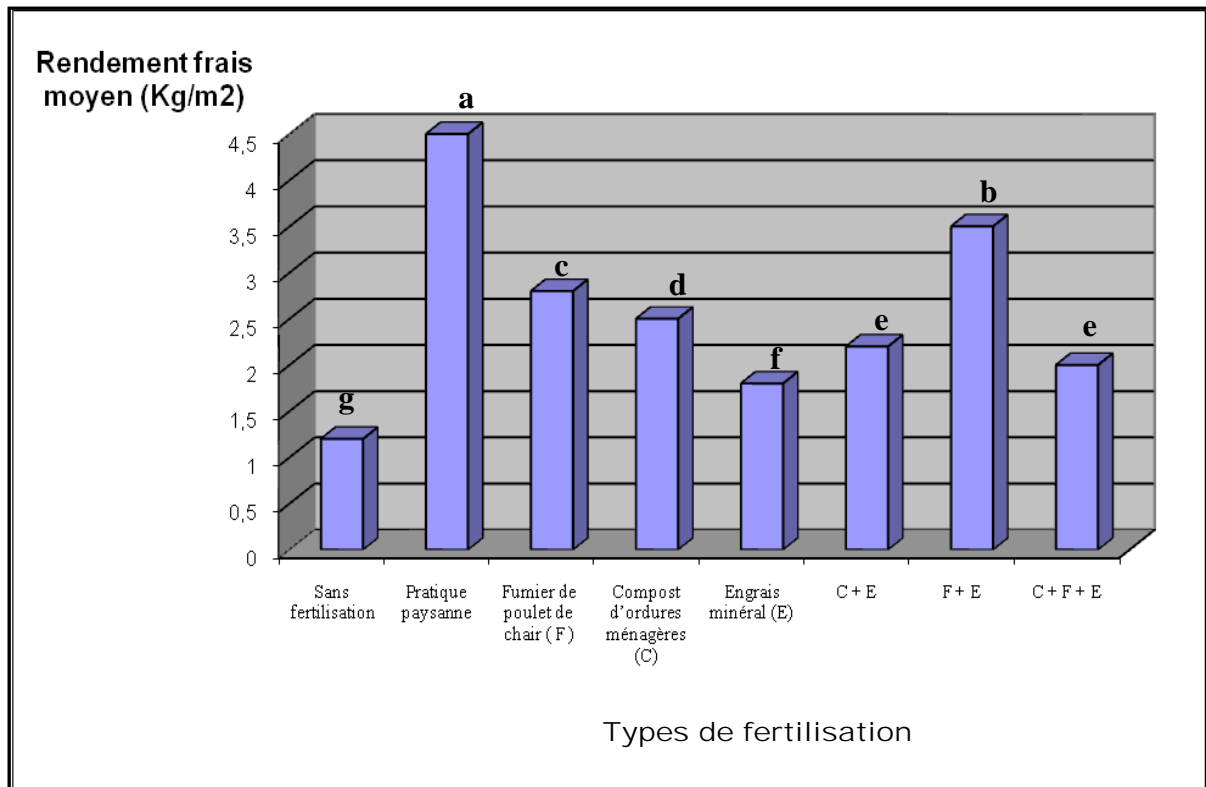
Source de variation	Degré de liberté	Carré moyen	Valeur F	Pr.> F
Bloc	3	0.010	0.51	0.682 ns
Types de fertilisation	7	4.257	210.84	0,0001**

ns = non significatif au seuil de probabilité 5% ; ** = très hautement significatif au seuil de probabilité 5%

Les résultats présentés par la figure 9, montrent qu'au second cycle de laitue, une baisse de rendement a été observée sur l'ensemble des parcelles, exception faite des parcelles ayant reçu la fertilisation paysanne où les rendements ont été les meilleurs. Le rendement moyen enregistré sur ces parcelles est de $4,480 \pm 0,14 \text{ kg/m}^2$. Ceci s'explique dans la mesure où ces parcelles ont reçu la même fertilisation durant les deux cycles de culture, alors que les autres parcelles n'ont pas reçu une fumure de fond au second cycle de culture.

Le rendement moyen de laitue obtenu sur les parcelles témoins est de $1,2 \pm 0,14 \text{ kg/m}^2$. Ce rendement est le plus faible de tous les rendements obtenus au second cycle de production. En plus, il est inférieur au rendement obtenu sur les mêmes parcelles au premier cycle de culture. Ceci résulte certainement de l'appauvrissement des parcelles suite aux exportations de récolte du précédent cultural.

Au second cycle de laitue et sur la base du rendement frais, les types de fertilisation expérimentés sont classés comme suit : pratique paysanne > fumier + engrais > fumier > compost > compost + engrais \geq compost + fumier + engrais > engrais minéral > témoin.



Les niveaux de fertilisation surmontés d'une même lettre ne ont pas significativement différent au seuil de probabilité de 5%.

Figure 9: Rendement frais de laitue en fonction des types de fertilisation au second cycle cultural

Les parcelles ayant reçu un précédent de fumier + engrais ont donné, au second cycle de culture, un rendement moyen de $3,465 \pm 0,14 \text{ kg/m}^2$. Comparativement au témoin, cette fertilisation a augmenté significativement les rendements frais de laitue de $2,3 \text{ kg/m}^2$.

A ce même cycle de culture de la laitue, un rendement moyen de $2,848 \pm 0,14 \text{ kg/m}^2$ a été obtenu sur les parcelles ayant reçu un précédent de fumier. De ce rendement, il en résulte une augmentation de $1,6 \text{ kg/m}^2$ par rapport au témoin.

Le rendement moyen enregistré sur les parcelles ayant reçu un précédent de compost est de $2,455 \pm 0,14 \text{ kg/m}^2$. Celui-ci a ainsi procuré une augmentation de $1,3 \text{ kg/m}^2$ comparativement au témoin. Les parcelles ayant reçu un précédent engrais minéral ont donné un rendement frais moyen de $1,782 \pm 0,14 \text{ kg/m}^2$. Contrairement au premier cycle de laitue, ce rendement est significativement supérieur à la moyenne observée sur les parcelles témoins. L'augmentation de rendement qui en résulte est de $0,6 \text{ kg/m}^2$. Quant aux parcelles fertilisées par un précédent de compost + engrais ou de compost + engrais + fumier, les rendements moyens obtenus sont respectivement de $2,208 \pm 0,14 \text{ kg/m}^2$ et $2,037 \pm 0,14 \text{ kg/m}^2$.

Comparativement au témoin ces fertilisations procurent respectivement des augmentations de 1 kg/m² et de 0,8 kg/m² sur le rendement frais de laitue.

Dans le souci de pouvoir se prononcer sur l'impact des amendements expérimentés sur le rendement frais de la laitue, il s'est avéré nécessaire de cumuler les rendements obtenus au cours des deux cycles de culture, puis de les comparer. L'analyse de la variance des cumuls ainsi obtenus est présentée par le tableau XXVIII. De ce dernier, il en résulte que les blocs n'ont pas eu un effet significatif sur le rendement frais de la laitue, contrairement aux types de fertilisation où l'effet observé a été hautement significatif. Ce résultat n'est qu'une déduction des résultats obtenus au premier et au second cycle de culture.

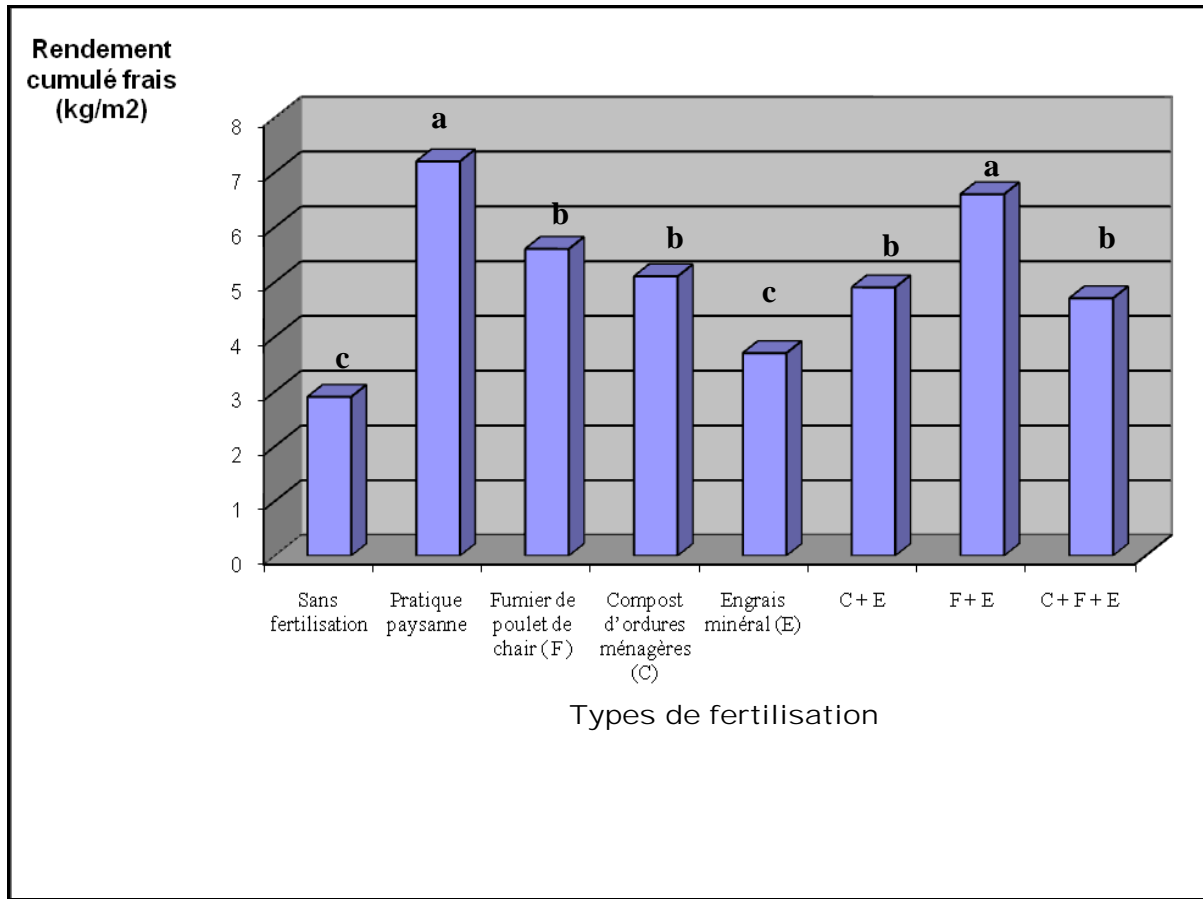
Tableau XXVIII: Analyse de la variance des niveaux de fertilisation sur le cumul du rendement frais de la laitue des deux cycles de production

Source de variation	Degré de liberté	Carré moyen	Valeur F	Pr.> F
Bloc	3	0.187	0.58	0.634 ns
Types de fertilisation	7	7.928	24.60	0,0001**

ns = non significatif au seuil de probabilité 5% ; ** = très hautement significatif au seuil de probabilité 5%

Après deux cycles de culture de la laitue, la figure 10 montre que les meilleures performances ont été obtenues sur les parcelles ayant reçu la fertilisation paysanne ou du fumier + engrais. Les rendements moyens enregistrés sur ces parcelles sont respectivement de 7,213 ± 0,21 kg/m² et 6,597 ± 0,21 kg/m². Par rapport au témoin il en résulte respectivement les augmentations de 4,3 kg/m² et 3,7 kg/m² sur rendement frais de la laitue. Les rendements cumulés obtenus sur les parcelles ayant reçu soit du fumier, soit du compost, soit du compost + engrais ou du compost + fumier + engrais, sont statistiquement semblables au seuil de probabilité de 5%. Les rendements moyens obtenus respectivement sur ces parcelles sont de 5,597 ± 0,21 kg/m², 5,040 ± 0,21 kg/m², 4,892 ± 0,21 kg/m² et 5,517 ± 0,21 kg/m². Les augmentations de rendement qui en résultent, comparativement au témoin sont respectivement de 2,7 kg/m², 2,2 kg/m², 2 kg/m² et 1,8 kg/m². Par ailleurs aucune différence significative n'a été observée entre les parcelles ayant reçu de l'engrais et les parcelles témoins.

Globalement, sur la base du rendement cumulé, les types de fertilisation expérimentés sont classés comme suit : pratique paysanne ≥ fumier + engrais > fumier ≥ compost ≥ compost + engrais ≥ compost + fumier + engrais > engrais ≥ témoin.



Les niveaux de fertilisation surmontés d'une même lettre ne ont pas significativement différent au seuil de probabilité de 5%.

Figure 10: Comparaison des types de fertilisation sur le rendement cumulé de la laitue en deux cycles de culture

4.1.3.2. Rendement frais de la laitue en fonction de la dose des amendements expérimentés

Dans le souci de déterminer des doses optimales d'épandage des amendements organiques utilisés dans l'étude, trois doses de compost d'ordures ménagères et quatre doses de fumier de poulet de chair ont été expérimentées sur laitue au site 2. Les rendements frais obtenus de cette expérimentation ont subi les analyses de la régression et de la variance. Les résultats de ces analyses sont présentés par le tableau XXIX. Ces résultats montrent que les doses d'amendements organiques ont un effet hautement significatif sur le rendement frais de laitue. Ainsi, plusieurs courbes de régression ont été envisagées. Au nombre de celles-ci, les modèles linéaire et logarithmique ont présenté les meilleures corrélations. Toute fois, le

modèle logarithmique s'est révélé le plus approprié pour établir les courbes de réponse des amendements organiques expérimentés dans les essais.

Tableau XXIX: Analyses de la régression et de la variance du rendement frais de la laitue en fonction de la dose d'amendement organique

Amendements expérimentés	Pr.> F	R-carrée ajusté (%)	
		Modèle linéaire	Modèle logarithmique
Fumier de poulet de chair	0,001**	65	95
Compost issu d'ordure ménagère	0,001**	60,2	93,8

** = très hautement significatif au seuil de probabilité 5%

La courbe de réponse obtenue après épandage du fumier de poulet de chair est donnée par la figure 11. De cette dernière il ressort que le rendement frais de la laitue croît indéfiniment avec la dose de fumier apportée sous forme de fumure de fond. Cette courbe ne présente pas de sommet, ce qui rend impossible la détermination d'une dose optimale. Cependant, cette courbe présente un intérêt dans la mesure où, connaissant une dose, on peut déterminer son rendement potentiel. Ainsi, dans le cas où l'on envisagerait une substitution des engrais minéraux par du fumier, la dose de 4,36 kg/m² de fumier pourrait être envisagée à la place de la fertilisation minérale recommandée par le mémento de l'agronome (CIRAD-GRET, 2002).

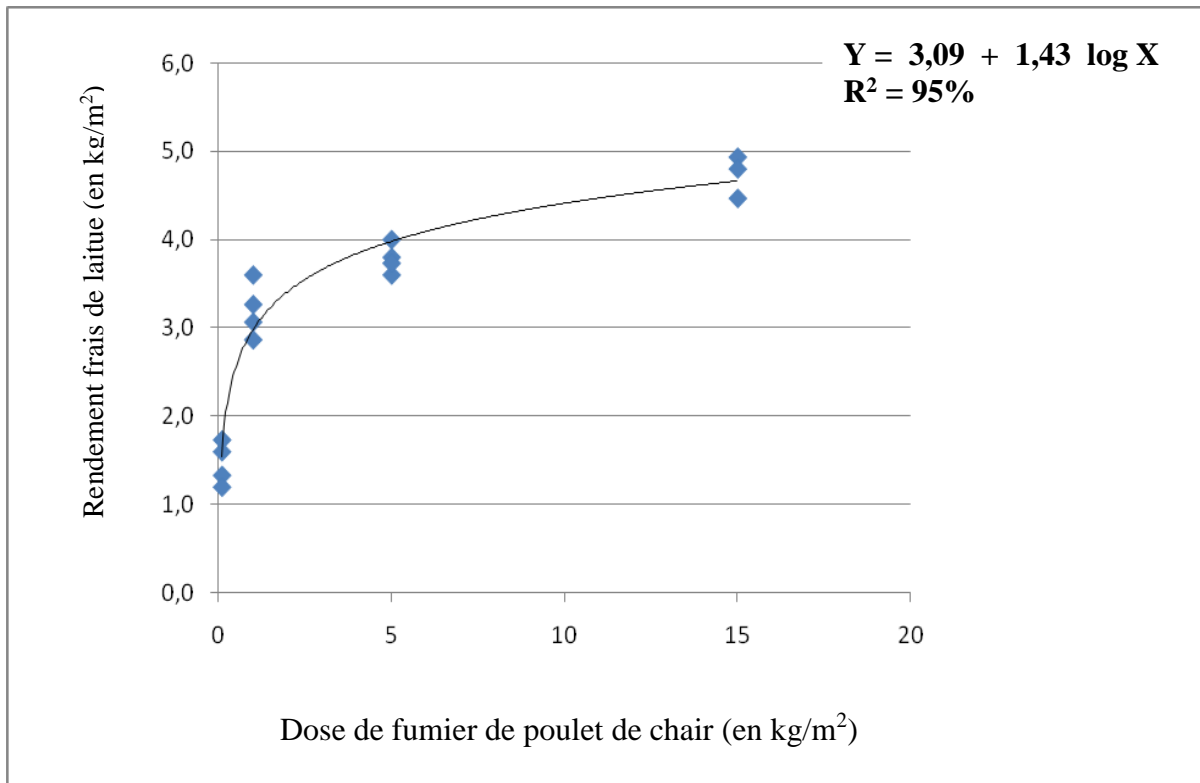


Figure 11: Courbe de réponse du fumier de poulet de chair sur le rendement frais de la laitue

De même la courbe de réponse obtenue après épandage de trois doses de compost d'ordures ménagères est présentée par la figure 12. Il ressort de cette courbe que l'augmentation de rendement suite aux épandages est moins que proportionnelle à l'augmentation des doses. L'absence d'un maximum empêche la détermination d'une dose optimale de compost. Néanmoins l'application de 12,82 kg/m² de compost donne un rendement potentiel identique à celui obtenu par épandage de la fertilisation minérale proposée par le mémento de l'agronome (CIRAD-GRET, 2002).

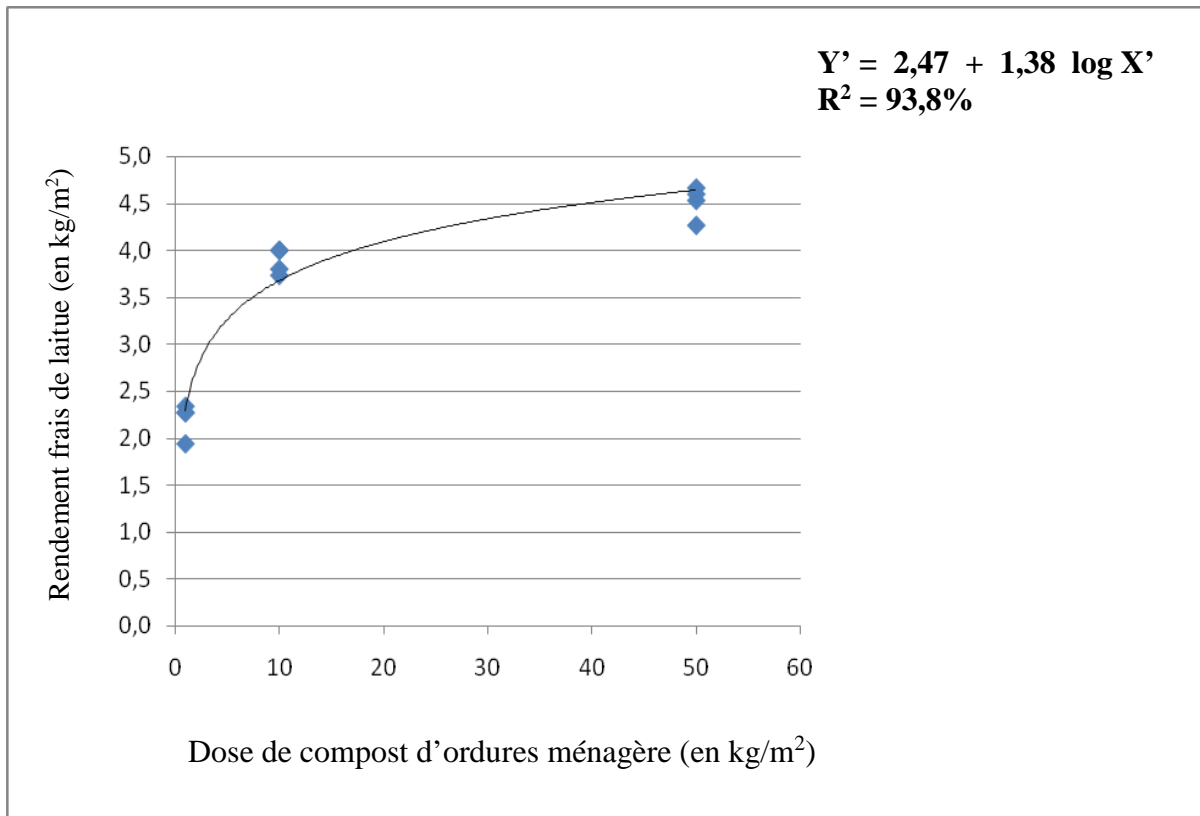


Figure 12: Courbe de réponse du compost d'ordures ménagères sur le rendement frais de la laitue

4.1.3.3. Variation de la fertilité du sol

Après deux cycles de culture de la laitue, des prélèvements des sols ont été effectués par site. Les résultats issus de l'analyse des échantillons de sol prélevés au site 1 sont présentés par le tableau XXX.

Tableau XXX: Variation des caractéristiques du sol en fonction des types de fertilisation

Niveau de fertilisation	Variation des caractéristiques du sol							
	MO (en %)	N totale (en %)	C/N	P ₂ O ₅ (en g/kg)	K ₂ O (en g/kg)	S (meq/100g)	CEC (meq/100g)	pH- eau
Pratique paysanne	+ 0,57	+ 0,07	- 2,04	- 3	+ 0,39	+ 1,28	+ 2,70	0
Compost d'ordures ménagères (C)	+ 3,34	+ 0,13	+ 0,79	- 23	- 0,26	+ 16,74	+ 4,60	+ 1,2
Fumier de poulet de chair (F)	+ 0,86	+ 0,10	- 2,54	- 43	+ 0,17	+ 3,08	+ 2,73	+ 0,4
Engrais minéral (E)	- 0,34	+ 0,03	- 2,44	- 20,5	- 0,20	+ 0,03	+ 2,43	- 0,1
C + E	+ 3,22	+ 0,14	+ 0,20	- 56	+ 0,28	+ 10,82	+ 3,74	+ 1,3
F + E	+ 0,73	+ 0,06	- 1,31	- 55	+ 0,18	+ 0,28	+ 2,91	- 0,4
C + F + E	+ 0,76	+ 0,06	- 1,23	- 51	- 0,01	+ 3,28	+ 2,66	+ 0,6

Après épandage des matières fertilisantes expérimentées, le tableau XXX montre qu'il en résulte une variation des caractéristiques du sol comparativement à l'état initial.

Sur les parcelles ayant reçu du fumier ou du compost, une augmentation de la teneur en matière organique a été observée ; exception faite sur les parcelles ayant été fertilisées à partir de l'engrais minéral. Après épandages, il a été observé une augmentation de la teneur en azote totale sur toutes les parcelles expérimentales. Le rapport C/N des parcelles ayant reçu du compost a augmenté. Cependant on note une réduction du rapport C/N sur toutes les autres parcelles. La teneur en acide phosphorique (P₂O₅) a subi une réduction sur toutes les parcelles expérimentales. La teneur en potasse (K₂O) a augmenté sur les parcelles ayant reçu la fertilisation paysanne, du fumier et du compost combiné à l'engrais minéral. La somme des bases (S) a augmenté sur toutes les parcelles expérimentales. Aussi la capacité d'échange cationique (CEC) a-t-elle augmenté sur toutes les parcelles ayant reçu les niveaux de fertilisations expérimentées. Le pH a subi une augmentation sur les parcelles ayant reçu du compost ou du fumier uniquement. Cependant on note une diminution du pH sur les parcelles ayant reçu uniquement de l'engrais ou du fumier + engrais.

4.1.3.4. Teneur en éléments minéraux majeurs dans la partie aérienne

L'analyse de la variance des résultats obtenus en laboratoire (tableau XXXI) montre qu'au seuil de 5%, les types de fertilisation expérimentés n'ont pas eu d'effet significatif sur les teneurs en N, P et K contenues dans la partie aérienne des laitues.

Tableau XXXI: Analyse de la variance de la teneur en éléments minéraux en fonction des types de fertilisation.

Source de variation	Degré de liberté	Carré moyen	Valeur F	Pr.> F
Bloc	1	1,071	0,80	0,612 ns
N	7	0,087	1,12	0,436 ns
P	7	0,017	2,74	0,091 ns
K	7	0,001	3,29	0,059 ns

ns = non significatif au seuil de probabilité 5%

Les valeurs moyennes obtenues après le traitement des données du laboratoire sont présentées par le tableau XXXII.

Tableau XXXII : Teneur en éléments minéraux majeurs dans la partie aérienne de la laitue sous différents types de fertilisation.

Types de fertilisation	Teneur en éléments minéraux		
	N total en %	P en mg/kg	K en cmol/kg
Sans fertilisation	2,085 ± 0,2	0,415 ± 0,07	0,845 ± 0,02
Pratique paysanne	2,165 ± 0,2	0,625 ± 0,07	0,875 ± 0,02
Compost d'ordures ménagères (C)	2,010 ± 0,2	0,485 ± 0,07	0,890 ± 0,02
Fumier de poulet de chair (F)	2,130 ± 0,2	0,530 ± 0,07	0,875 ± 0,02
Engrais minéral (E)	1,925 ± 0,2	0,380 ± 0,07	0,815 ± 0,02
C + E	2,375 ± 0,2	0,395 ± 0,07	0,865 ± 0,02
F + E	1,975 ± 0,2	0,550 ± 0,07	0,840 ± 0,02
C + F + E	1,655 ± 0,2	0,590 ± 0,07	0,830 ± 0,02

4.1.4. Impact économique des amendements organiques sur la fertilisation de la laitue

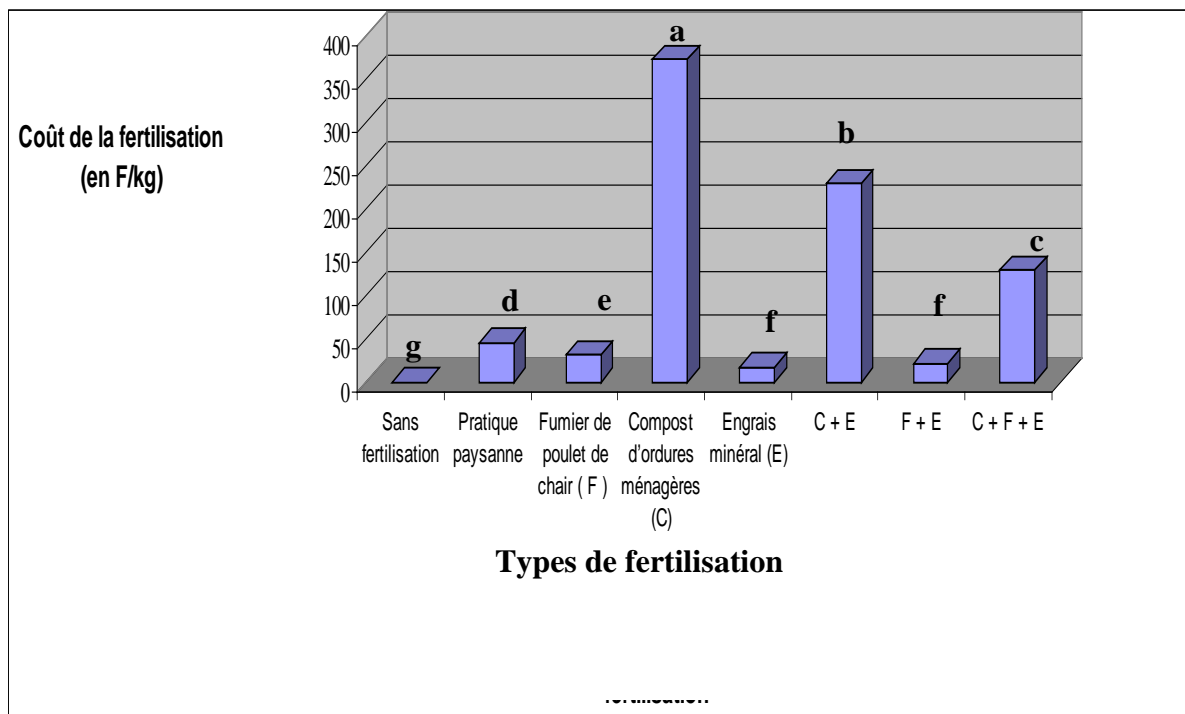
Les résultats obtenus de l'ANOVA (tableau XXXIII) montrent qu'au seuil de 5% de probabilité, les types de fertilisation ont eu un effet très hautement significatif sur le coût de fertilisation de la laitue.

Tableau XXXIII: Analyse de la variance du rapport coût de la fertilisation sur le rendement frais après deux cycles de laitue.

Source de variation	Degré de liberté	Carré moyen	Valeur F	Pr.> F
Bloc	3	28.396	1.04	0.395 ns
Types de fertilisation	7	69985.137	2565.37	0,0001**

ns = non significatif au seuil de probabilité 5% ; ** = très hautement significatif au seuil de probabilité 5%

La figure 13 présente la comparaison des types de fertilisation expérimentée, sur la base du coût de fertilisation qu'ils engendrent respectivement.



Les niveaux de fertilisation surmontés d'une même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de probabilité de 5%.

Figure 13: Coût de fertilisation pour produire un kilogramme de laitue en fonction des types de fertilisation

La figure 13 montre que l'usage du compost se révèle comme la fertilisation la plus coûteuse. En effet le coût de fertilisation pour produire un kilogramme de laitue à partir du compost est de $373,3 \pm 5,24$ F CFA. Comparativement à la pratique paysanne, l'usage du compost engendre une augmentation du coût de fertilisation de la laitue de 290 F CFA/kg, ce qui explique son rejet en milieu paysan.

Cependant l'usage de l'engrais minéral s'est présenté comme le mode de fertilisation le moins coûteux. Le coût de fertilisation par unité de masse de laitue produite à partir de

l'engrais minéral est de $17,4 \pm 5,24$ F CFA/ kg. Comparativement à la fertilisation paysanne, l'usage de l'engrais minéral réduit le coût de fertilisation de 28,15 FCFA/kg de laitue produite.

En termes de coût de fertilisation, l'usage du fumier se révèle intermédiaire entre le compost et l'engrais minéral. En effet, pour produire un kilogramme de laitue, l'on dépense $32,2 \pm 5,24$ F CFA pour l'achat du fumier. Comparativement à la fertilisation paysanne, il en résulte un gain de 13,4 F CFA par kilogramme de laitue produite à partir du fumier, toutes choses étant égales par ailleurs.

La combinaison du compost avec de l'engrais minéral a permis d'améliorer significativement son coût de fertilisation, bien que celui-ci reste nettement supérieur à celui de la fertilisation paysanne. Le coût de fertilisation moyen obtenu sur les parcelles ayant reçu une fertilisation composée de compost + engrais est de $229,4 \pm 5,24$ F CFA/kg de laitue.

De même, la combinaison du fumier avec de l'engrais minéral améliore significativement sa rentabilité économique, toutes choses étant égales par ailleurs. Cette fertilisation coûte deux fois moins que celle pratiquée par les paysans. Il convient de rappeler que la fertilisation paysanne est une combinaison du fumier avec un engrais minéral. Cependant, les apports effectués par le paysan sont inférieurs aux besoins de la laitue (voir annexe 1), notamment en azote.

Toutes choses étant égales par ailleurs, les types de fertilisation expérimentés sont classés sur la base de leur rentabilité économique comme suit: témoin > engrais minéral \geq fumier + engrais > fumier > pratique paysanne > compost + fumier + engrais > compost + engrais > compost.

4.1.5. Impacts environnementaux des amendements organiques expérimentés

L'évaluation des impacts environnementaux des amendements organiques expérimentés s'est effectuée d'une part sur la masse d'ordures ménagères éliminées par unité de masse de laitue produite, d'autre part sur quelques risques de contamination qui peuvent résulter de l'usage de ces amendements.

4.1.5.1. Masse d'ordures ménagères éliminée ou recyclée pour produire une unité de masse de laitue

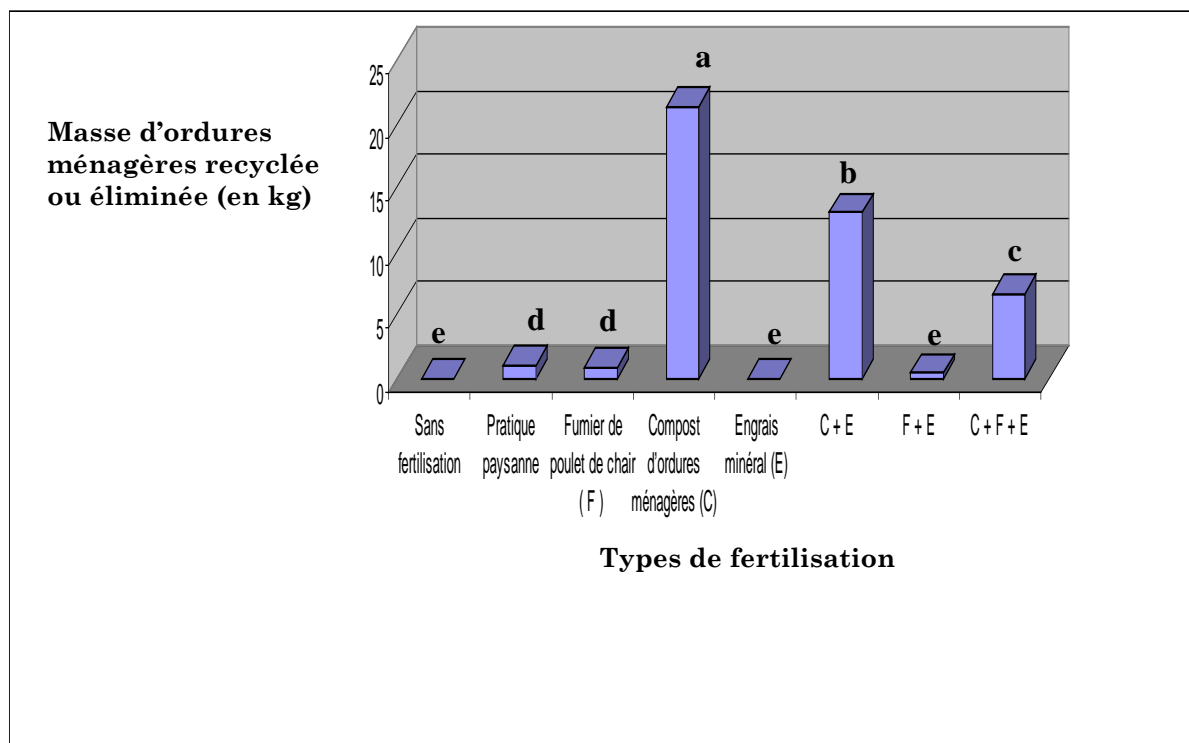
Les résultats présentés par le tableau XXXIV, montrent que les types de fertilisation expérimentés ont eu une influence très hautement significative sur la masse de déchets éliminée ou recyclée.

Tableau XXXIV: Analyse de la variance de la masse d'ordures ménagères nécessaire pour produire un kilogramme de laitue.

Source de variation	Degré de liberté	Carré moyen	Valeur F	Pr.> F
Bloc	3	0.108	1.33	0.292 ns
Types de fertilisation	7	249.130	3053.40	0,0001**

ns = non significatif au seuil de probabilité 5% ; ** = très hautement significatif au seuil de probabilité 5%

La comparaison des types de fertilisations, sur la base de la masse de déchets qu'ils éliminent respectivement, est présentée par la figure 14.



Les niveaux de fertilisation surmontés d'une même lettre ne ont pas significativement différent au seuil de probabilité de 5%.

Figure 14: Masse de déchets recyclés ou éliminés pour un kilogramme de laitue en fonction des types de fertilisation

La figure 14 montre que la fertilisation de la laitue à partir du compost élimine ou recycle significativement les ordures ménagères. Ainsi, pour produire un kilogramme de laitue, on recycle $21,332 \pm 0,3$ kg d'ordures ménagères. Ce qui représente pratiquement la quantité d'ordures ménagères produite par un camerounais en 35 jours. Si l'on se base sur le fait que la communauté urbaine à Yaoundé dépense 13000 FCFA pour la collecte d'une tonne d'ordures ménagères (SOTAMENOU, 2004), on arrive à un gain de 277,316 F CFA par kilogramme de laitue produite à partir du compost.

L'usage du fumier n'a pas présenté une différence significative sur la masse de déchets recyclés par rapport à la fertilisation paysanne. La moyenne enregistrée sur les parcelles ayant reçu du fumier est de $0,857 \pm 0,3$ kg. De par sa nature, l'engrais n'a pas présenté un intérêt pour le recyclage des déchets.

La combinaison des amendements organiques expérimentés avec de l'engrais minéral réduit significativement leur impact sur la masse de déchets recyclée. Sur les parcelles ayant reçu du compost + de l'engrais, on a obtenu une moyenne de $13,010 \pm 0,3$ kg d'ordures ménagères recyclées. Aussi, a-t-on enregistré une valeur de $6,662 \pm 0,3$ kg sur les parcelles fertilisées par une combinaison de compost + fumier + engrais. Les parcelles fertilisées par une combinaison fumier + engrais ont donné une moyenne de $0,422 \pm 0,3$ kg.

Sur la base de la masse de déchets éliminés ou recyclés, les types de fertilisation expérimentés sont classés comme suit : compost > compost + engrais > compost + fumier + engrais > pratique paysanne \geq fumier > fumier + engrais \geq engrais \geq témoin.

4.1.5.2. Risques microbiens des amendements organiques expérimentés

Quatre échantillons composites d'amendements organiques ont été analysés au Centre Pasteur de Yaoundé. Les résultats de cette analyse sont présentés par le tableau XXXV. De ce tableau il ressort l'absence de *Campylobacter*, d'*Escherichia coli* et de *Salmonella sp.* sur fumier de poulet de chair et sur compost d'ordure ménagère expérimentés. Cependant la présence d'*Escherichia coli* a été constatée sur compost d'ordure ménagère après conservation. Ceci pourrait être lié soit à une contamination en cours de conditionnement du produit, soit au stock dans lequel l'échantillon a été prélevé. Il faut rappeler que les deux échantillons de compost qui ont été envoyés pour l'analyse sont issus des stocks différents. La présence d'*Escherichia coli* dans le compost d'ordure ménagère remet en cause les conditions dans lesquelles ce compost a été produit. En effet lorsque le compostage est effectué selon les règles de l'art, ce pathogène est détruit à la phase thermophile (DE BERTOLDI et al. 1983).

Tableau XXXV: Mise en évidence de quelques microbes dans les amendements organiques expérimentés.

Microbe pathogène	Compost d'ordures ménagères		Fumier de poulet de chair	
	Frais	après conservation	Fraîches	après conservation
<i>Campylobacter</i>	Absence	Absence	Absent	Absent
<i>Escherichia coli</i>	Absence	Présent	Absent	Absent
<i>Salmonella sp.</i>	Absence	Absence	Absent	Absent

4.1.5.3. Risques de contamination en quelques métaux lourds des amendements organiques expérimentés

La contamination potentielle des sols agricoles par les amendements organiques reste l'une des contraintes environnementales qui compromet leur épandage. Ainsi deux échantillons composites de fumier de poulet de chair et de compost d'ordure ménagère ont été envoyés au LASPEE de l'IRAD pour analyse de trois métaux lourds. Les résultats de cette analyse sont présentés par le tableau XXXVI. Au regard de ces résultats il ressort que les amendements organiques expérimentés dans cette étude ne présentent pas de risque de contamination des sols agricoles en cuivre, zinc et plomb. Ceci s'explique dans la mesure où, comparativement à la nouvelle norme AFNOR (2006) les teneurs en ces éléments dans ces amendements sont très faibles. Cependant des interrogations restent sur l'effet cumulé à long terme de ces éléments.

Tableau XXXVI: Teneur en métaux lourds (en mg/kg de MS) des amendements organiques expérimentés.

Métaux lourds	Compost d'ordures ménagères	Fumier de poulet de chair	Valeur seuil dans les amendements organiques selon la nouvelle norme AFNOR (2006)
Cuivre (Cu)	0.09	0.07	300
Zinc (Zn)	0.32	0.27	600
Plomb (Pb)	0.021	0.008	180

Les amendements organiques ci-dessus ont été épandus à plusieurs doses dont les maximums sont de 15 kg/m² de fumier de poulet de chair et 50 kg/m² de compost d'ordures ménagères. Des échantillons de sol ont été prélevés sur les parcelles ayant reçu ces doses maximales afin d'être analysés. Les résultats obtenus du LAPSEE de l'IRAD sont présentés par le tableau XXXVII. Ces résultats montrent qu'après épandage des amendements organiques expérimentés à ces doses, il n'y a pas risque de contamination des sols. Ceci dans la mesure où après épandage de ces amendements les teneurs en cuivre, zinc et plomb dans le sol restent très faibles par rapport aux seuils proposés par CHABALIER et al. (2006).

Tableau XXXVII: Teneur en métaux lourds (en mg/kg de MS) des parcelles ayant reçu 15 kg/m² de fumier de poulet de chair et 50 kg/m² de compost d'ordures ménagères.

Métaux lourds	Témoin sans fertilisation	Compost d'ordures ménagères	Fumier de poulet de chair	Valeur seuil dans les sols destinés à l'épandage Selon CHABALIER et al. (2006)
Cuivre (Cu)	0.11	0.10	0.09	100
Zinc (Zn)	0.02	0.03	0.02	300
Plomb (Pb)	0.23	0.21	0.18	100

L'absorption des métaux lourds par les plantes se présente comme un risque de contamination de la chaîne alimentaire (CHABALIER *et al.*, 2006). Ainsi des laitues récoltées sur parcelle ayant reçu 15 kg/m² de fumier de poulet de chair et 50 kg/m² de compost d'ordures ménagères, ont été analysées au LAPSEE de l'IRAD. Les résultats de cette analyse sont présentés par le tableau XXXVIII. Ces résultats montrent que les teneurs en cuivre, zinc et plomb dans la partie aérienne des laitues sont supérieures à celles de ces éléments dans les amendements et dans les sols où ces amendements ont été épandus à forte dose. En effet les expérimentations d'utilisation des amendements organiques comme support de cultures maraîchères montrent que la laitue a cette particularité d'accumuler le zinc et le cuivre (PURVES et MACKENZIE, 1973; JUSTE et SOLDA, 1977). Toutefois, les teneurs en cuivre, en zinc et en plomb observées sur ces laitues ne présentent pas de risque de contamination de la chaîne alimentaire.

Tableau XXXVIII: Teneur en métaux lourds (en mg/kg) dans la partie aérienne de laitue cultivée sur parcelle ayant reçu 15 kg/m² de fumier de poulet de chair et 50 kg/m² de compost d'ordures ménagères.

Métaux lourds	Témoin sans fertilisation	Compost d'ordures ménagères	Fumier de poulet de chair	Valeurs de référence
Cuivre (Cu)	0.27	0.25	0.32	(0,05 – 0,61) ²
Zinc (Zn)	0.07	0.29	0.20	(5 – 100) ¹
Plomb (Pb)	1.20	1.22	1.61	

1= teneur normale dans les plantes, proposée par SKIREDJ (2002)

2= valeurs trouvées par PINARD et *al.* (2003) sur un sol non pollué et deux sols pollués.

4.2. DISCUSSION

Une vue d'ensemble des résultats de la présente étude (tableau XXXIX) permet d'envisager une discussion sur l'effet individuel des amendements expérimentés, ainsi que leur effet combiné aux engrais.

Tableau XXXIX : Impacts agro économique et environnemental de quelques amendements organiques.

Types de fertilisation	Rendement frais de laitue (en kg/m ²)			Coût de fertilisation par unité de production (en FCFA/kg)	Masse de déchets recyclés par unité de production
	Cycle 1	Cycle 2	Cumul (1+2)		
Sans fertilisation	1,700 ± 0,17 c	1,200 ± 0,14 g	2,900 ± 0,21 c	0,000 ± 5,24 g	0,000 ± 0,3 e
Pratique paysanne	2,733 ± 0,17 b	4,480 ± 0,14 a	7,213 ± 0,21 a	45,590 ± 5,24 d	1,052 ± 0,3 d
Fumier (F)	2,750 ± 0,17 b	2,848 ± 0,14 c	5,597 ± 0,21 b	32,192 ± 5,24 e	0,857 ± 0,3 d
Compost (C)	2,583 ± 0,17 b	2,455 ± 0,14 d	5,040 ± 0,21 b	373,275 ± 5,24 a	21,332 ± 0,3 a
Engrais minéral (E)	1,932 ± 0,17 c	1,782 ± 0,14 f	3,715 ± 0,21 c	17,443 ± 5,24 f	0,000 ± 0,3 e
C+E	2,683 ± 0,17 b	2,208 ± 0,14 e	4,892 ± 0,21 b	229,350 ± 5,24 b	13,010 ± 0,3 b
F+E	3,133 ± 0,17 a	3,465 ± 0,14 b	6,597 ± 0,21 a	21,717 ± 5,24 f	0,422 ± 0,3 e
C+F+E	2,733 ± 0,17 b	2,037 ± 0,14 e	5,517 ± 0,21 b	129,325 ± 5,24 c	6,662 ± 0,3 c

Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de probabilité de 5%, selon le test de DUNCAN

4.2.1. Impacts individuels des amendements organiques expérimentés.

Sur le plan agronomique, il ressort que le fumier de poulet de chair est plus riche que le compost d'ordures ménagères. En effet, comparativement au fumier caractérisé par ZIEGLE et HEDUIT (1991), le fumier utilisé dans cette étude présente une teneur en matière sèche élevée, une teneur en matière organique et en éléments fertilisants majeurs faible. Malgré sa forte teneur en matière sèche, le compost utilisé dans cette étude a presque les mêmes caractéristiques que les composts caractérisés par le CIPCRE (1997). La forte teneur en matière sèche résulte des conditions de production médiocres de ce compost, qui ont favorisé une forte contamination de terre.

Au premier cycle de laitue, il n'y a pas eu de différence significative entre l'application du fumier et l'application du compost. Cette réaction est propre aux

amendements organiques ; ils ne restituent pas immédiatement leurs nutriments. Raison pour laquelle un second cycle de culture s'est imposé.

Au second cycle, il a été constaté une différence significative entre l'arrière effet de ces deux amendements. En effet un accroissement de rendement frais de 0,3 kg/m² a été observé sur parcelles de laitue ayant reçu un précédent de fumier comparativement aux parcelles ayant reçu un précédent de compost. Ceci peut être dû au fait que, à la première année, le fumier met à la disposition des plantes cultivées un peu plus d'éléments nutritifs que le compost (KIRCHMANN, 1985 ; MUSTIN, 1987). Cependant, l'usage du compost accroît la fertilité du sol mieux que le fumier ; notamment la teneur en matière organique, le rapport C/N, la somme des bases échangeables, la capacité d'échange cationique et le pH. L'effet compost observé dans ces travaux, entre dans la même ligne que les observations faites par TEJADA et al. (2008) sur la teneur en matière organique et le rapport C/N.

Comparativement à l'engrais minéral, l'usage du compost ou du fumier a amélioré de manière significative le rendement de la laitue. En effet au premier cycle l'application du fumier sur des parcelles de laitue a accru le rendement frais de 0,9 kg/m² comparativement aux rendements obtenus sur des parcelles ayant reçu l'engrais minéral. De même la fertilisation de la laitue à partir du compost a accru le rendement frais de 0,7 kg/m² comparativement aux parcelles fertilisées avec de l'engrais minéral. Le même constat a été effectué au second cycle de culture. Un constat similaire a été effectué par NZILA (2006) sur amarante potagère (*Amaranthus cruentus*) au Congo Brazzaville sur sol sableux. Aussi, MBOGNING (2000) a-t-il également constaté un accroissement du rendement de la morelle noire (*Solanum nigrum* Mill.) après épandage du fumier sur oxisol à Dschang. Ce comportement des amendements organiques trouve un sens dans la mesure où ceux-ci libèrent leurs nutriments en fonction des besoins de la culture. En plus les pertes dues au lessivage n'ont pas été prises en compte lors de la détermination des doses d'engrais à épandre.

Sur le plan économique, il a été constaté qu'il existe une différence significative sur le coût de fertilisation de la laitue en fonction du type d'amendement organique utilisé. En effet, pour produire un kilogramme de laitue, on dépense en terme de fertilisation 9,5 fois plus avec du compost qu'avec du fumier. Ceci est certainement lié à la mauvaise qualité du compost utilisé dans cette étude. Par exemple pour un apport théorique de 110 unités fertilisantes d'azote on a pratiquement besoin en masse de 10 fois plus de compost d'ordures ménagères que du fumier de poulet de chair (annexe 1).

Comparativement au compost, l'engrais minéral s'est avéré économiquement efficace. Pour un apport théorique de 110 unités fertilisantes d'azote on dépense pratiquement 20 fois plus en utilisant du compost qu'en utilisant l'engrais minéral. Cependant, en terme de coût, il n'y a pas de différence significative entre le fumier et l'engrais. Ce résultat pourrait faire prétendre que le fumier de poulet de chair utilisé dans la présente étude est compétitif par rapport à l'engrais. Ce qui n'est pas le cas. En effet, une bonne partie de l'engrais épandu aurait été lessivée.

En dehors des aspects agronomiques et économiques, la présente étude s'est intéressée aux aspects environnementaux des amendements organiques. Aussi, avons-nous essayé de chiffrer la quantité de déchets recyclés par l'usage agricole de ces amendements.

Sur le plan environnemental, le compost utilisé dans cette étude présente des teneurs similaires en cuivre, en zinc et en plomb que ceux caractérisés par NGNIKAM et al. (1995) à Yaoundé. Ce compost présente un intérêt environnemental significatif par rapport à l'usage du fumier. En effet, pour produire un kilogramme de laitue à partir du compost on recycle 25 fois plus de déchets qu'à partir du fumier.

Le fumier expérimenté, n'ayant subi aucune transformation particulière en dehors du stockage, serait beaucoup plus susceptible à contenir des agents pathogènes que ce compost. Contrairement à cette attente, les résultats obtenus en laboratoire ont révélé la présence d'*Escherichia coli* dans un échantillon de compost stocké. Ceci permet d'envisager plusieurs causes : soit les conditions de production de ce compost, soit une contamination pendant le stockage ou alors un développement du pathogène pendant le stockage.

Pris individuellement, le compost a eu le meilleur impact environnemental comparativement au fumier et à l'engrais minéral (tableau XXXIX). Cependant cet impact environnemental est masqué par les performances agronomiques médiocres et le coût élevé de ce compost sur le marché local. D'où la nécessité d'envisager d'une part des possibilités d'amélioration de la qualité de ce compost et d'autre part des stratégies de réduction du coût de ce compost sur le marché local. La qualité des amendements organiques en général et du compost d'ordures ménagères en particulier ne serait-elle pas améliorée par un complément d'engrais minéral ?

4.2.2. Impacts des amendements organiques expérimentés combinés aux engrais chimiques.

Sur le plan agronomique, la combinaison du compost avec de l'engrais minéral n'a pas amélioré les performances du compost au premier cycle de culture. Cependant, les parcelles fertilisées avec du fumier + engrais ont donné des rendements supérieurs à ceux observés sur les parcelles fertilisées uniquement avec du fumier. La combinaison fumier + engrais a donné de meilleurs rendements que la combinaison compost + engrais. Les mêmes observations ont été faites au deuxième cycle de culture. Ces résultats sont semblables à ceux de NZILA (2006) sur amarante potagère (*Amaranthus cruentus*). Aussi, MBOUAPOUGNINI et al. (2005) constatent une amélioration de la croissance de la morelle noire (*Solanum nigrum* Mill) après application d'un fumier combiné à un bio fertilisant mycorhizien, sur andosol. Terman et al. (1973) expliquent cette réaction par le fait que le fumier valorise mieux que le compost, les matières fertilisantes qui lui sont associées.

Sur le plan économique, il a été constaté que la combinaison du compost d'ordures ménagères à l'engrais réduit significativement le coût de la fertilisation comparativement à l'usage de ce compost seul. Cette réduction est estimée à 107,14 FCFA par kilogramme de laitue produit. De même, il y a eu une différence significative entre les combinaisons compost + engrais et compost + fumier + engrais. La première combinaison réduit le coût de fertilisation de 97,4 FCFA par kilogramme de laitue produit. Cependant il n'y a pas de différence significative au niveau du coût qu'on apporte du fumier de poulet de chair uniquement ou qu'on le combine à l'engrais minéral.

Cependant, la combinaison du compost + engrais accroît significativement le coût de fertilisation de la laitue par rapport à la combinaison du fumier + engrais. Cet accroissement a été estimé à 206,86 FCFA par kilogramme de laitue produit. Ces observations montrent que la combinaison des amendements organiques expérimentés avec l'engrais minéral améliore la rentabilité économique de ces amendements, toutes choses étant égales par ailleurs.

Sur le plan environnemental, il ressort que la combinaison du compost à l'engrais a une différence significative sur la masse de déchets collectés par rapport aux autres

combinaisons expérimentées. Comparativement aux parcelles ayant reçu fumier + engrais ou compost + fumier + engrais, le niveau de fertilité a été plus élevé sur les parcelles fertilisées par du compost + engrais.

Malgré le fait que l'apport de l'engrais en complément au compost n'a pas accru de manière significative le rendement frais de la laitue, il reste que cet apport a réduit significativement le coût de fertilisation par kilogramme de laitue produit. Aussi l'intérêt environnemental de cette combinaison reste-t-il assez considérable.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSION

La présente étude s'est proposée d'évaluer les impacts agronomique, économique et environnemental de l'usage de quelques amendements organiques sur la culture de la laitue à Nkolondom. Pour y parvenir des essais en champ complétés par des analyses en laboratoires ont été effectués. Le traitement et l'analyse des données qui en résultent montrent que :

L'épandage du fumier ou du compost a eu un impact positif sur le rendement de la laitue au premier et au second cycle de culture. Les meilleures performances ont été observées sur parcelles ayant reçu du fumier combiné à l'engrais. Cette combinaison réduit significativement le coût de fertilisation par rapport à la pratique paysanne. Par ailleurs, il a été déterminé que l'apport de 4,36 kg/m² du fumier ou de 12,82 kg/m² de compost procure le même rendement frais de laitue que l'apport de la dose d'engrais recommandée par le mémento de l'agronome.

Comparativement au fumier, le compost a présenté les meilleures performances environnementales. A partir de ce compost, l'on élimine ou recycle 21,332 ± 0,3 kg d'ordures ménagères par kilogramme de laitue produite. Ce qui représente un gain de 277,29 FCFA lié à la collecte de ces ordures. Aussi, ce compost a-t-il amélioré la teneur en matière organique, la somme des bases échangeables et le pH des parcelles où il a été épandu.

En outre, l'usage de ce compost n'a pas présenté de risque de contamination des sols agricoles en cuivre, zinc et plomb. Aussi, les pathogènes comme *Campylobacter* et *Salmonella* *sp* n'ont-ils pas été mis en évidence dans ce compost. Néanmoins bien qu'*Escherichia coli* soit absent sur ce compost à l'état frais, il y a été identifié sur compost stocké. Par conséquent, l'usage du compost issu d'ordures ménagères présente un risque sanitaire si les bonnes pratiques de compostage ne sont pas respectées.

Au terme de cette étude bon nombre de préoccupations persistent. Au nombre de celles-ci il y a l'impact à long terme de ces amendements organiques sur la structure des sols agricoles et leurs impacts sur d'autres sites et d'autres cultures. La réponse à ces préoccupations contribuerait à la valorisation des déchets des communautés urbaines.

RECOMMANDATION

Améliorer la qualité des amendements organiques expérimentés : il a été constaté que les amendements utilisés dans cette étude contiennent très peu de matière organique et beaucoup de matière sèche. La mauvaise qualité de ces amendements compromet leurs performances agronomique et économique, d'où la nécessité d'améliorer leur qualité. Pour y parvenir plusieurs alternatives sont envisageables. Au nombre de celles-ci on a :

- **le compostage** du fumier de poulet de chair. Cette transformation va en plus contribuer à la réduction du volume de ce fumier ;
- **l'enrichissement du compost issu d'ordures ménagères** à partir d'un complément d'engrais minéral, ou d'un complément de bio fertilisants tels que les mycorhizes ou les légumineuses. On peut également y parvenir en effectuant des co-composts ;
- **l'amélioration des conditions techniques de production des composts** : pour y parvenir le compostage peut être confié à des structures spécialisées ou un encadrement des populations afin que celles-ci parviennent à produire un compost de qualité. Ainsi lors du compostage il est nécessaire d'éviter les mélanges avec de la terre en pratiquant un compostage sur dalle par exemple.

Réduire le coût des amendements organiques sur le marché local, notamment celui du compost issu d'ordures ménagères. En effet, le prix élevé de ce compost compromet son utilisation par les agriculteurs et son intérêt environnemental par la suite. Pour y parvenir une taxe peut être créée au sein des collectivités décentralisées, afin de supporter les charges liées au compostage des déchets (conformément à l'article 95 de la loi n°74/23 du 5 décembre 1974). On peut également avoir recours aux subventions par les bailleurs de fonds.

Faire une extension de l'étude. Dans le souci de développer une politique nationale ou sous-régionale de la valorisation agricole des déchets de la collectivité, il s'avère nécessaire d'approfondir cette étude en réalisant de nouvelles expérimentations avec un compost de meilleure qualité. Aussi est-il nécessaire de revoir à la hausse le nombre de site, le nombre de culture et le nombre de répétition en ce qui concerne les prélèvements de sol avant et après culture.

BIBLIOGRAPHIE

1. **ADAS, 1983.** Les fertilisants organiques. Sciences et techniques de l'an 2000. 124 pages
2. **ADEME, 1993.** Méthodologie de caractérisation des ordures ménagères: Agence de l'environnement et de la maîtrise d'énergie, Connaître pour Agir, guides et cahiers techniques, p.60.
3. **ADRIANO, D.C., 1986.** Traces elements in the terrestrial environment, Springer Verlag, New York, 421p.
4. **AFNOR, 2006.** Qualité des sols, méthodes de prélèvement d'échantillon de terre. Norme Française Homologuée. 80p.
5. **Agence Méditerranéenne de l'Environnement (AME), 1997.** Matière organique en agriculture en Languedoc-Roussillon-Guide technique, 15p.
6. **ALVES, W.L. and PASSONI, A. A., 1997.** Compost and vermicompost of urban solid waste in Licania Tomentosa (Benth) seedlings production to arborisation, Pesq. Agropec. Brasileira 32 (10), 1053 – 1058.
7. **APV Compost, 2001.** Etude d'impact et de danger, site d'Inisten-viaporc, 28p.
8. **BEERNAERT, F. AND BITONDO, D., 1992.** Simple and practical methods to evaluate analytical data of soil profiles, CUDs Dschang soil science department, 66p.
9. **BENGTON, G. W. AND CORNETTE, J. J., 1973.** Disposal of composted municipal waste in a plantation of young slash pine. Effect on soil and tree, J. Environ. Qual., 2 , p.441-444.
10. **BERNAL, M.P., PAREDES, C., SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A. AND CEGARRA, J., 1998.** Maturity and stability parameters of compost prepared with a wide range of organic wastes, *Bioresource Technology* 63, pp. 91–99
11. **BERTOLINI, G., MORVAN, B., BERTOLINI, F., 1996.** L'organisation du tri des ordures ménagères dans les pays en développement. Rapport d'étude réalisée pour le compte de l'ADEME, CEMAGREF, Renne – France. 70 p.
12. **BOPDA, A., 1985.** La dynamique de l'espace urbain à Yaoundé. Reconstitution et expansion post coloniale du bâti ; Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle de géographie urbaine. Université de Yaoundé.

13. **BRULA, P., NAQUIN, P., et PERRODIN, Y., 1995.** Etude bibliographique des rejets des différentes techniques de traitement de résidus urbains. Vol.2. L'incinération et la décharge. Lyon (France) INSA valor. Division Polden, ADEME (Anger), p. 74.
14. **BUSTAMANTE, M.A., PAREDE, C. S, MORAL,R., AGULLÓ, E., PÉREZ-MURCIA, M.D. AND ABAD, M., 2008.** Composts from distillery wastes as peat substitutes for transplant production, available in <http://www.aginternetwork.net>. p. 15
15. **CHABALIER, P.F., VIRGINIE V.D.K., ET HERVE S.M. 2006,** Guide de la fertilisation organique à la REUNION, Chambre d'agriculture de la Réunion, CIRAD, p. 106-115
16. **CIPCRE, 1997.** Projet pilote de compostage des ordures ménagères dans la ville de Bafoussam : Rapport d'exécution. p 70.
17. **CIRAD – GRET, 1980.** Mémento de l'agronome. JOUVE, 11, bd de Sébastopol, 75001 Paris, p. 990-995
18. **CIRAD – GRET, 2002.** Mémento de l'agronome. JOUVE, 11, bd de Sébastopol, 75001 Paris, p. 1690
19. **CUINIER, C., 1975.** Recherche sur la microflore édaphique des terroirs viticoles de Touraine. Application culturale. Thèse, Fac. Sci. Clermont Ferrand. 277 p.
20. **DAVIDESCU, D. and DAVIDESCU, V., 1982.** Evaluation of fertility by plant and soil analysis, British Library Cataloguing in Publication Data, ISBN 0-85626-123-8, p.379
21. **DE BERTOLDI, M., VALLINI, G., et PERA, A., 1983.** The biology of composting: A review, Waste Management and Research. Vol.1, p. 157-176
22. **FARINET, J.L. et SEYDOU, N., 2005.** Recyclage des déchets et effluents dans l'agriculture urbaine, pdf, disponible sur site web <http://www.lesafriques.com/cameroun/.agriculturefamiliale>. p.21
23. **FIORAMONTI, S., ET MARTY, J. R., 1966.** Contribution à l'étude du compost obtenu par fermentation des ordures ménagères de la ville de Toulouse, Bull. Assoc., Et. Sol., p. 18-43
24. **FISCHER, A., 1950.** Statistical Methods for Research Workers. Oliver and Boyd, Edinburgh. Proc. amer. soc. hort. sci. p.78-90
25. **GARCIA-GOMEZ,A., BERNAL, M.P. AND ROIG, A., 1991.** Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial wastes, *Bioresour Technol* **83**, pp. 81–87.

26. **GIORDANO, P.M., and MAYS, D.A., 1977.** Effect of land disposal application of municipal wastes on crop yields and heavy metal uptake. U.S. EPA Technol. Ser. EPA-00/2-77, p14
27. **GODDEN, B., 1986.** Etude du processus de compostage du fumier de bovin. Thèse de Doctorat en Science Agronomique, Université libre de Bruxelles. Laboratoire de microbiologie, 136 pages.
28. **GOLCHIN, A., CLARKE, P., OADES, J.M., SKEJMSTAD, J.O., 1995.** The effects of cultivation on the composition of organic matter and structural stability of soils. *Austr. J. Soil Res.* 33, p. 975 - 993
29. **GOLUEKE, C.G., 1981.** Principles of biological resource recovery, *Biocycle* 22, pp. 36–40.
30. **GOLUEKE, C. G. et DIAZ, L. F., 1990.** Understanding the basics of composting. *Biocycle* n°31, p.56
31. **HACALA, S., 1998.** Le compostage du fumier en exploitation d'élevage. In *Le compostage à la ferme des effluents d'élevage. Faisabilité technique et valorisation. Recueil des interventions du 15 décembre 1998.* Paris. ACTA/ADEME/Ministère de l'agriculture et de la pêche, p. 43
32. **HARADA, Y. and INOKO, A., 1980.** The measurement of the cation-exchange capacity of composts for estimation of degree of maturity, *Soil Sci Plant Nutr* 26, pp. 127–134.
33. **HE, T.J., LOGAN AND TRAINER, S.J., 1995.** Physical and chemical characteristics of selected US municipal solid waste composts, *J. Environ. Qual.* 24, pp. 543–552.
34. **INS, 2001.** Annuaire statistique du Cameroun 2001. National Institut of Statistics, Yaoundé, Cameroon.
35. **INS, 2005.** Enquête sur l'emploi et le secteur informel au Cameroun en 2005. National Institut of Statistic, Yaoundé, Cameroun.
36. **Institut de l'Elevage, 1993.** Déjection bovine, besoin de stockage et composition. Collection Ligne - Etude et Recherche pour l'Elevage, France, p.17
37. **ITAB, 2001.** Guide des matières organiques, tome 2, 91p.
38. **JUSTE, C. et SOLDA, P., 1977.** Etude des possibilités d'utilisation des composts d'ordures ménagères comme supports des cultures maraichères. Dans « Actes du 1^{er} symposium sur la recherche en matière de sol et déchets solides », Ministère de la culture et de l'environnement, Paris. 30 p.

39. **KASSIM, S.M., ALI, M., 2006.** Solid waste collection by the private sector : households perspective. Findings from a study in Dar es Salaam city, Tanzania. *Habitat International* 30 (4), p.769-780.
40. **KHIM-HEANG, S., et CORVI, C., 2000.** Programme de surveillance de la teneur en métaux des denrées alimentaires : plomb, cadmium, cuivre et zinc dans les salades de laitue. Vol.91, n°2, pp 186-190
41. **KIELH, E.J., 1985.** Fertilizantes orgânicos, Agronômica Ceres, Piracicaba, Brasil, p. 417 – 431.
42. **KIRCHMANN H., 1985.** Losses, plant uptake and utilisation of manure nitrogen during a production cycle. 24, *Acta Agriculture Scandinavia supplementum*, Stockholm, Norvège. 77p.
43. **KUETE, M., 1977.** Etude géomorphologique du massif de Yaoundé. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle. Université de Bordeaux III.
44. **LEMIERE, B., SEGUIN, J.J., LE GUERN, C., GUYONNET, D., BARRANGER, PH., SAADA, A., avec la collaboration de DARMENDRAIL, D., CONIL, P., BODENAN, F., FAUCONNIER, D., HUBE, D. ET COLOMBANO, S., 2008.** Guide sur le comportement des polluants dans les sols et nappes. Documents du BRGM 300, p. 21 – 25
45. **MADEJON, E., LOPEZ, R., MURILLO, J.M., and CABRERA, F., 2001.** Agricultural use of three vinasse composts: Effects on crops and chemical properties of cambisol in Guadalquivir river valley. *Agric., Ecosyst., Environ. Spain.* 84 p.
46. **MARQUIS, S. 2005.** Diagnostic agraire du village de Nkolondom dans la zone périurbaine de Yaoundé. Mémoire d'ingénieur agronome de l'INH-ENIHP, Montpellier, p.97
47. **MAYSTRE, L.Y., PICTET, J. et SIMOS, J., 1994.** Méthodes multi critiques. Lausanne (Suisse) : Presses universitaires, 323 p.
48. **MBOGNING, J. B., 2000.** Effet de la fumure organique et minérale sur la croissance et le rendement de trois variétés de morelle noire (*Solanum scabrum*) à Dschang. Mémoire d'ingénieur agronome. UD. FASA.
49. **MBOUAPOUOGNINI, V. D., ADAMOU, S., NWAGA, D., 2005.** Effet des biofertilisants mycorhiziens et de la fertilisation organique ou minérale sur la croissance et l'absorption minérale de la morelle noire (*Solanum nigrum Mill*) sur andosol et oxisol. Rapport, Biotech. Yaoundé (Cameroun). p.28-35

50. **MENSAH, A., 2006.** People and their waste in an emergency context: The case of Monrovia, Liberia, *Habitat International* 30(4), p.754-768.
51. **MINADER, 2005.** Stratégie nationale de développement du sous secteur engrais et d'amélioration durable de la productivité des sols au Cameroun, Rapport, Cameroun, P.40
52. **MINVIL, 2001.** Schéma directeur d'aménagement et de l'urbanisme 2020 de Yaoundé, Rapport, Yaoundé, Cameroun.
53. **MOSLER, H.J., DRESCHER, S., ZURBRÜGG, C., RODRIGUEZ, T.C., MIRANDA, O.G., 2006.** Practices of households in santiago de Cuba. Cuba, *Habitat International* 30(4), p.849-862
54. **MOUGOUE, B., 1982.** La municipalité et l'occupation des sites non constructibles à Yaoundé. Cameroun urban review, MINUH. N°1, pp. 38-40
55. **MUSTIN, M., 1987.** Le compost, gestion de la matière organique, 954p.
56. **NAHAR,M.S., GREWAL,P.S., MILLER,S.A., STINNER, D., STINNER, B.R., KLEINHENZ, M.D., WSZELAKI, A. AND D. DOOHAN, 2006.** Differential effects of raw and composted manure on nematode community, and its indicative value for soil microbial, physical and chemical properties, available in <http://www.aginternetwork.net>. p.15-17
57. **NANGA,E., 2008.** Analyse des pratiques paysannes dans la zone maraîchère de Yaoundé : Cas du bas fond de Nkolondom. Mémoire d'ingénieur agronome, UDs. FASA.
58. **NAVARRO, A., BLANCHARD, J.M., BOUSTER, C., GOURDON, R., MANFE, C., MARAVAL, S., MATHURIN, D., MEHU, J., MURAT, M., NAQUIN, P., PERRODIN, Y., REVIN, P., ROUSSEAU, P.,VERON, J., 1993.** Gestion et traitement des déchets, France, art. p.32
59. **NGNIKAM, E., NDOUMBE, N., H., WETHE J., 1995.** Mise en place de dix compostières dans les quartiers de Yaoundé: Animation et participation de la population. Réseau africain du compost, compte rendu de la première conférence. Dakar, p.60.
60. **NGNIKAM, E., 2000.** Evaluation environnemental et économique des systèmes de gestion des déchets solides : Analyse du cas de Yaoundé au Cameroun, Ph.D, INSA Lyon, France. P.217
61. **NGNIKAM, E. et TANAWA, E., 2006.** Les villes d'Afrique face à leurs déchets, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, p.280

62. **NZILA, J. D., WATHA-NDOUDY, N., et NTANGOU, M., 2007.** Impact de la fertilisation organique et minérale sur la production des cultures maraichères (*Basella alba* et *Amaranthus cruentus*) sur sols sableux de la région de Brazzaville (Congo). CRCRT, Congo-Brazzaville, pp87-88.
63. **ONWUENE, I.C. ET SINHA, T. D., 1991.** Field and vegetable production in warm climate. Mac. Millan, London, U.K., p.220
64. **OULD TOURAD, M., OULD MOULAYE ZEINE, S.A., 2003.** Projet d'appui aux petits transporteurs des déchets solides du quartier Basra à Nouakchott, Mauritanie; (Final report), Nouakchott, Mauritanie. p.22-34
65. **PARROT, L., SOTAMENOU, J., and KAMGNIA, D.B., 2008.** Municipal solid waste management in Africa: Strategies and livelihoods in Yaoundé, Cameroon, country report, Elsevier, doi: 10.1016/ J. wasman, p.10
66. **PINAMONTE, F., STRINGARI, G., GASPERI, F. AND ZORZI, G., 1997.** The use of compost: Its effects on heavy metal levels in soil and plants, Res. Conserv. Rec., 21(2), p.129-143.
67. **PINARD, A., BISSON, M., HOUEIX, N., GAY, G., LACROIX, G., 2003.** Cuivre et ses dérivés. Pdf, disponible sur <http://www.iav.ac.ma/agro/dh/nutrition>. p.21
68. **POMMEL, B., et JUSTE, C., 1977.** La valorisation agricole des déchets ; Le compost urbain. Station d'agronomie, INRA, Pont de la Maye. 72 p.
69. **PURVES, D. and MACKENZIE, E., 1973.** Effects of municipal compost on uptake of copper, zinc, and boron by garden vegetable, Plant & soil, p.231-235
70. **RAGDALE, J. V., STASIS, P., RUDD, M. J. AND BRADSHA, W., 1992.** Mulch production from yardtrash. Biocycle, p. 34 - 37
71. **RAO, M. R., NIANG, A., KWESIGA, F. B., DUGUMA, S., FRANZEL, B. J. AND BURESH, R., 1998.** Soil fertility replenishment in sub-saharan Africa : New techniques and spread of their use on farm. Agroforestry today 10(2): 3-8
72. **RHODE, G., 1972.** Des enrichissements dangereux de métaux lourds dans le sol et les végétaux sont-ils possibles après application prolongée de compost d'ordure et de boues d'épuration ?, A. N. S. Mitteilungen, n° 35, p. 295 – 300.
73. **ROS, M., HERMANDEZ, M.T., and GARCIA, C., 2003.** Soil microbial activity after restoration of semi arid soil by organic amendements. Soil Biol., Biochem., pp. 463-469
74. **SÁINZ, M.J., TABOADA-CASTRO, M.T. AND VILARIÑO, A., 1998.** Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants in a soil amended with composted urban waste, Plant Soil 205, p.85 - 92

75. **SERRA-WITTLING, C., HOUOT, S., and ALABOUVETTE, C., 1996.** Increased soil suppressiveness to Fusarium wilt of flax after addition of municipal solid waste compost. *Soil Biology and Biochemistry*, 28, 1207-1214.
76. **SKIREDJ, A., 2002.** Besoins des plantes en eau et en éléments nutritifs. Pdf disponible sur <http://www.iav.ac.ma/agro/dh/skired/nutrition>. p.12
77. **SMITH, S. R., 1992.** Sewage-sludge and refuse compost as peat alternatives for conditioning impoverished soils- Effects on the growth response and mineral status of *Petunia grandiflora*, *J. Hort. Sci.* 67 (5), p. 703 – 716.
78. **SNAPP, S. S., MAFONGOYA, P.L., AND WADDINGTON, S., 1998.** Organic matter technologies for integrated nutrient management in smallholder cropping systems of Southern Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.* 71: 185 – 200.
79. **SOTAMENOU, J., 2004.** Efficacité de la collecte des déchets ménagers et agriculture urbaine et périurbaine dans la ville de Yaoundé. Mémoire de DEA, Université de Yaoundé II, Cameroun, p.109
80. **TCHUENTE, R., 2002.** L'agriculture urbaine et périurbaine à Yaoundé - Cameroun : Situation d'une activité montante et controversée. Tome 1. CIPRE, p.57
81. **TEJADA, M., HERMANDEZ, M.T., GARCIA, C., 2006.** Application of two organic amendments on soil restoration: Effects on the soil biological properties. *J. Environ. Qual.* 35, p. 1010 – 1017
82. **TERMAN, G.L., SOILEAU, J.M., ALLEN, S.E., 1973.** Municipal waste compost: effects on crop yields and nutrient content in greenhouse pot experiments. *J. Environ. Qual.*, 2, pp. 84-89
83. **THICOIPE, J. P., 1997.** La laitue, Ctifl, SERAIL, 297p
84. **VISHNU, P.G., SABEHA, K.O., TONY, H., 2008.** Remediation of copper and cadmium in contaminated soil using compost with inorganic amendments, *Water Air Soil Pollut., Springer Sci. + Business Média*, p.14
85. **WAAS, E., ADJADEME, N., et BIDAUX, A., 1996.** Valorisation des déchets organiques dans les quartiers populaires des villes africaines. Genève- Suisse. Fonds Suisse de la recherche scientifique ; Module 7, Développement et Environnement. CREPA, IAGU et SAN DEC. 50 p.
86. **WALLACE, H., and WARRICK, A., 2000.** Soils in waste treatment and utilisation : Land treatment (vol.1). CRC Press. Inc., Boca Raton, Florida. 140 p.
87. **WILKINS, D.A., 1978.** The measurement of tolerance to edaphic factors by means of roots growth. *New phytol.* Vol.80, pp 623-624

88. **ZIEGLE, D. et HEDUIT, M., 1991.** Engrais de ferme, valeur fertilisante, gestion de l'environnement. ITCF, ITP, ITEB, France, p. 35
89. **ZUCCONI, F.M., PERA, A., FORTE, M. AND BERTOLDI, M., 1981.** Evaluating toxicity of immature compost, *Biocycle* 22, pp. 54–57.

ANNEXES

Annexe 1 : Apports théoriques en éléments minéraux (exprimés en g/m²) de chaque traitement selon les analyses des amendements organiques.

Besoins d'une culture de laitue	N	P2O5	K2O
Fumure de fond	65	72	90
Fumure de couverture	45		100
TOTAL	110	72	190

Traitement 1	N	P2O5	K2O
2,9 kg/m ² de fumier de poulet de chair	64	7,6	9
6,25 g/m ² d'un engrais complet de formulation 20-10-10	12,5	6,3	6,3
TOTAL	76,5	13,9	15,3

Traitement 2	N	P2O5	K2O
4,8 kg/m ² de fumier de poulet de chair en fumure de fond	110	12,7	15

Traitement 3	N	P2O5	K2O
47 kg/m ² de compost en fumure de fond	110	320	630

Traitement 4	N	P2O5	K2O
54,2 g/m ² d'engrais minéral de formulation 12-14-19 en fumure de fond	65	76	103
37,5 g/m ² d'engrais minéral de formulation 12-14-19 en fumure de couverture	45	52,5	71,3
TOTAL	110	128,5	174,3

Traitement 5	N	P2O5	K2O
27,8 kg/m ² de compost en fumure de fond	65	189	372
10 g/m ² d'urée en fumure de couverture	45		
TOTAL	110	189	372

Traitement 6	N	P2O5	K2O
2,8 kg/m ² de fumier de poulet de chair en fumure de fond	65	7,5	8,8
37,5 g/m ² d'engrais minéral de formulation 12-14-19 en fumure de couverture	45	52,5	71,2
TOTAL	110	60	80

Traitement 7	N	P2O5	K2O
13,9 kg/m ² de compost en fumure de fond	32,5	94,5	186
1,4 kg/m ² de fumier de poulet de chair en fumure de fond	32,5	3,7	4,4
10 g/m ² d'urée en fumure de couverture appliquée	45		
TOTAL	110	98,2	190,4

Annexe 2 : Calcul des besoins en engrais et amendements organiques pour le premier cycle.

Compost issu d'ordures ménagères : **1.197,6 kg**

- Essai 1 Traitement 4 : 47 kg /m² → $47 \text{ kg/m}^2 * 2 \text{ m}^2 \text{ par PE} * 4 \text{ répétitions} = 376 \text{ kg}$
- Essai 1 Traitement 6 : 27,8 kg /m² → $27,8 \text{ kg/m}^2 * 2 \text{ m}^2 \text{ par PE} * 4 \text{ répétitions} = 222,4 \text{ kg}$
- Essai 1 Traitement 8 : 13,9 kg /m² → $13,9 \text{ kg/m}^2 * 2 \text{ m}^2 \text{ par PE} * 4 \text{ répétitions} = 111,2 \text{ kg}$
- Essai 2 Traitement 6, 7 et 8 :
1 , 10 et 50 kg /m² → $61 \text{ kg/m}^2 * 2 \text{ m}^2 \text{ par PE} * 4 \text{ répétitions} = 488 \text{ kg}$

Fumier de poulet de chair : **264 kg**

- Essai 1 Traitement 1 : 2,9 kg /m² → $2,9 \text{ kg/m}^2 * 2 \text{ m}^2 \text{ par PE} * 4 \text{ répétitions} = 23,2 \text{ kg}$
- Essai 1 Traitement 3 : 4,8 kg /m² → $4,8 \text{ kg/m}^2 * 2 \text{ m}^2 \text{ par PE} * 4 \text{ répétitions} = 38,4 \text{ kg}$
- Essai 1 Traitement 7 : 2,8 kg /m² → $2,8 \text{ kg/m}^2 * 2 \text{ m}^2 \text{ par PE} * 4 \text{ répétitions} = 22,4 \text{ kg}$
- Essai 1 Traitement 8 : 1,4 kg /m² → $1,4 \text{ kg/m}^2 * 2 \text{ m}^2 \text{ par PE} * 4 \text{ répétitions} = 11,2 \text{ kg}$
- Essai 2 Traitement 2, 3, 4 et 5 :
0,1 ; 1 ; 5 ; 15) kg /m² → $21,1 \text{ kg/m}^2 * 2 \text{ m}^2 \text{ par PE} * 4 \text{ répétitions} = 168,8 \text{ kg}$

Engrais complet de formulation 20-10-10 : **50 g**

- Essai 1 Traitement 1 : 6,25 g /m² → $6,25 \text{ g/m}^2 * 2 \text{ m}^2 \text{ par PE} * 4 \text{ répétitions} = 50 \text{ g}$

Engrais complet de formulation 12-14-19 : **1,77 kg**

- Essai 1 Traitement 5 : 91,7 g /m² → $91,7 \text{ g/m}^2 * 2 \text{ m}^2 \text{ par PE} * 4 \text{ répétitions} = 733,6 \text{ g}$
- Essai 1 Traitement 7 : 37,5 g /m² → $37,5 \text{ g/m}^2 * 2 \text{ m}^2 \text{ par PE} * 4 \text{ répétitions} = 300 \text{ g}$
- Essai 2 Traitement 1 : 91,7 g /m² → $91,7 \text{ g/m}^2 * 2 \text{ m}^2 \text{ par PE} * 4 \text{ répétitions} = 733,6 \text{ g}$

Urée : **160 g**

- Essai 1 Traitement 6 : 10 g /m² → $10 \text{ g/m}^2 * 2 \text{ m}^2 \text{ par PE} * 4 \text{ répétitions} = 80 \text{ g}$
- Essai 1 Traitement 8 : 10 g /m² → $10 \text{ g/m}^2 * 2 \text{ m}^2 \text{ par PE} * 4 \text{ répétitions} = 80 \text{ g}$

Annexe 3 : Calendrier de conduite des essais.

Opérations	Essai	Cycle 1	Cycle 2
Préparation des planches	1	06/05/08	
	2	07/05/08	
Semis en pépinière	1	19/05/08	15/07/08
	2	20/05/08	17/07/08
Fumure de fond	1	08/05/08	-
	2	09/05/08	-
Repiquage	1	15/06/08	11/08/08
	2	16/06/08	14/08/08
Désherbage	1	24/06/08	25/08/08
	2	25/06/08	27/08/08
Fumure d'entretien	1	26/06/08	30/08/08 (sur T1)
	2	28/06/08 (sur T0)	-
Traitement phytosanitaire	1	30/06/08	28/08/08
	2	02/07/08	30/08/08
Récolte	1	13/07/08	17/09/08
	2	19/07/08	18/09/08

1= Essai conduite au site 1 chez Melene Jean Paul

2= Essai conduit au site 2 chez Enama Léonard

Annexe 4-1 : Guide d'appréciation de quelques caractéristiques de sols ferralitiques selon Beernaert et Bitondo (1992)

Niveau d'appréciation	M.O. (%)	N total (%)	Ca (méq/100g)	Mg (méq/100g)	K (méq/100g)	S (méq/100g)	CEC (méq/100g)	S/CEC (méq/100g)
Très faible	<1,0	<0,05	< 2,0	< 0,5	< 0,1	< 2	< 5	0 -20
Faible	1,0-2,0	0,05 – 0,125	2 – 5	0,5 – 1,5	0,1 – 0,3	2 – 5	5 – 10	21 – 40
Moyen ou Modéré	2,0-4,2	0,125 – 0,225	5,0 – 10,0	1,5 – 3,0	0,3 – 0,6	5 – 10	10 – 25	41 – 60
Elevé	4,2-6,0	0,225 – 0,300	10,0 – 20,0	3,0 – 8,0	0,6 – 1,2	10 – 15	25 – 40	61 – 80
Très élevé	>6,0	>0,300	> 20,0	> 8,0	> 0,1	> 15	> 40	81 - 100

Source : Beernaert et Bitondo,1992.

Annexe 4-2 : Guide d'appréciation de quelques caractéristiques de sols ferralitiques selon Beernaert et Bitondo (1992) (suite)

Niveau d'appréciation	Phosphore Assimilable (ppm) BRAY II	Na (cmol/kg)	Niveau d'appréciation	pH
Très faible	<7	> 2,0	Très acides	< 4
Faible	7 – 16	0,7 – 2,0	Acide	4,0 – 5,3
Moyen ou Modéré	16 – 46	0,3 – 0,7	Modérément acide	5,3 – 6,0
Elevé	> 46	0,1 – 0,3	Légèrement acide	6,0 – 7,0
Très élevé		< 0,1	Modérément alcalin	7,0 – 8,5
			Alcalin	> 8,5

Source : Beernaert et Bitondo, 1992.

Annexe 5 : Résultats de l'analyse des feuilles de laitue au second cycle de culture

Traitement	Répétition	%H ₂ O	%M.O.	%C.O.	%N	P ₂ O ₅ (mg/kg)	K ⁺ (cmol/kg)
0	2	95,59	24,29	14,12	2,09	0,35	0,84
0	4	96,7	26,71	15,53	2,08	0,48	0,85
1	2	98,35	25,75	14,97	2,2	0,62	0,87
1	4	96,65	26,21	15,24	2,13	0,63	0,88
2	2	96,27	25,2	14,65	1,94	0,59	0,89
2	4	96,69	27,12	15,77	2,08	0,38	0,89
3	2	96,96	23,58	13,71	2,04	0,52	0,89
3	4	96,75	26,78	15,57	2,22	0,54	0,86
4	2	96,49	30,44	17,7	2,06	0,36	0,84
4	4	95,65	27,52	16	1,79	0,4	0,79
5	2	95,86	22,77	13,24	2,63	0,36	0,88
5	4	98,46	27	15,7	2,12	0,43	0,85
6	2	96,77	24,49	14,24	1,89	0,51	0,85
6	4	96	28,16	16,37	2,06	0,59	0,83
7	2	95,8	25,3	14,71	2,11	0,51	0,81
7	4	96,26	27,18	15,8	1,2	0,67	0,85

Annexe 6 : Table de conversion

$$P_2O_5 = P * 2,29$$

$$K_2O = K * 1,20$$

$$1 \text{ méq } K^+ = 39 \text{ mg } K = 47 \text{ mg } K_2O$$

Annexe 7 : Données soumises à l'analyse de la variance.

Répétition	Traitement	Réc. 1(kg/m2)	Réc. 2 (kg/m2)	Cumul 2 cycles (kg/m2)	Ratio économique (F cfa/kg)	Coef d'assainissement
1	0	1,600	1,236	2,836	0,000	0,000
2	0	1,600	1,309	2,909	0,000	0,000
3	0	1,867	1,163	3,030	0,000	0,000
4	0	1,73	1,090	2,824	0,000	0,000
1	1	2,534	4,581	7,115	46,149	1,068
2	1	2,934	4,800	7,733	42,460	0,982
3	1	2,667	4,400	7,066	46,466	1,075
4	1	2,800	4,1450	6,945	47,276	1,094
1	2	2,600	2,836	5,436	33,110	0,882
2	2	2,667	2,800	5,466	32,926	0,878
3	2	2,800	2,9090	5,709	31,528	0,840
4	2	2,934	2,836	5,769	31,197	0,831
1	3	2,800	2,400	5,200	361,538	20,659
2	3	2,534	2,472	5,006	375,544	21,459
3	3	2,600	2,400	5,000	376,000	21,485
4	3	2,400	2,545	4,945	380,147	21,722
1	4	1,734	1,745	3,478	18,569	0,000
2	4	2,134	1,818	3,951	16,348	0,000
3	4	2,000	1,890	3,890	16,602	0,000
4	4	1,867	1,672	3,539	18,251	0,000
1	5	2,734	2,254	4,987	224,544	12,739
2	5	2,400	2,160	4,560	245,614	13,934
3	5	2,934	2,181	5,115	218,957	12,422
4	5	2,667	2,240	4,906	228,260	12,950
1	6	3,200	3,200	6,400	22,382	0,437
2	6	3,067	3,563	6,630	21,605	0,422
3	6	3,334	3,418	6,751	21,217	0,414
4	6	2,934	3,680	6,613	21,660	0,423
1	7	2,934	2,036	4,969	124,051	6,393
2	7	2,800	1,963	4,763	129,417	6,669
3	7	2,534	2,109	4,642	132,796	6,843
4	7	2,667	2,036	4,703	131,085	6,755

Annexe 8 : Composition du jury de la soutenance



1- Pr. ONGLA Jean (Président du jury) ; 2- Pr. RIERA Bernard (Membre du jury) ; 3- Dr. OMOKO Michel (Superviseur) ; 4- SEH Emmanuel (Candidat)

Annexe 9: Paramètres utilisés pour calculer le ratio économique (coût de fertilisation pour produire un kilogramme de laitue)

Répétition	Types de fertilisation	Rdt. Cumulé pour les 2 cycles (kg/m ²)	Dose matière fertilisante épandue pendant le deux cycles de culture (Kg/m ²)					Prix unitaire des matières fertilisantes (Fcfa/Kg)					Ratio économique (Fcfa/Kg)
			Fumier	Compost	NPK 20 10 10	NPK 12 14 19	Urée	Fumier	Compost	NPK 20 10 10	NPK 12 14 19	Urée	
1	Témoin	2,836	0										0,000
2	Témoin	2,909	0										0,000
3	Témoin	3,03	0										0,000
4	Témoin	2,824	0										0,000
1	Pratique paysanne	7,115	7,6		0,1084			37,5		400			46,149
2	Pratique paysanne	7,733	7,6		0,1084			37,5		400			42,460
3	Pratique paysanne	7,066	7,6		0,1084			37,5		400			46,466
4	Pratique paysanne	6,945	7,6		0,1084			37,5		400			47,276
1	Fumier poulet chair (F)	5,436	4,8					37,5					33,110
2	Fumier poulet chair (F)	5,466	4,8					37,5					32,926
3	Fumier poulet chair (F)	5,709	4,8					37,5					31,528
4	Fumier poulet chair (F)	5,769	4,8					37,5					31,197
1	Compost d'ordure ménagère (C)	5,2		47					40				361,538
2	Compost d'ordure ménagère (C)	5,006		47					40				375,544
3	Compost d'ordure ménagère (C)	5		47					40				376,000
4	Compost d'ordure ménagère (C)	4,945		47					40				380,147
1	Engrais minéral (E)	3,478				0,1292					500		18,569

Répétition	Types de fertilisation	Rdt. Cumulé pour les 2 cycles (kg/m2)	Dose matière fertilisante épanchée pendant le deux cycles de culture (Kg/m2)					Prix unitaire des matières fertilisantes (Fcfa/Kg)					Ratio économique (Fcfa/Kg)
			Fumier	Compost	NPK 20 10 10	NPK 12 14 19	Urée	Fumier	Compost	NPK 20 10 10	NPK 12 14 19	Urée	
2	Engrais minéral (E)	3,951				0,1292					500		16,348
3	Engrais minéral (E)	3,89				0,1292					500		16,602
4	Engrais minéral (E)	3,539				0,1292					500		18,251
1	C + E	4,987		27,8			0,02		40			400	224,544
2	C + E	4,56		27,8			0,02		40			400	245,614
3	C + E	5,115		27,8			0,02		40			400	218,957
4	C + E	4,906		27,8			0,02		40			400	228,260
1	F + E	6,4	2,8			0,075		37,5			500		22,382
2	F + E	6,63	2,8			0,075		37,5			500		21,605
3	F + E	6,751	2,8			0,075		37,5			500		21,217
4	F + E	6,613	2,8			0,075		37,5			500		21,660
1	C+ F+ E	4,969	1,4	13,9			0,02	37,5	40			400	124,051
2	C+ F+ E	4,763	1,4	13,9			0,02	37,5	40			400	129,417
3	C+ F+ E	4,642	1,4	13,9			0,02	37,5	40			400	132,796
4	C+ F+ E	4,703	1,4	13,9			0,02	37,5	40			400	131,085